FÉLIX CANDELA

ARQUITECTO

Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente

FÉLIX CANDELA

ARQUITECTO

FÉLIX CANDELA

A R Q U I T E C T O

Depósito Elevado del Canal de Isabel II
Madrid, 11 Mayo – 24 Junio de 1994

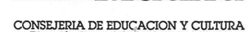
Exposición organizada por el Instituto Juan de Herrera y la Dirección General para la Vivienda, el Urbanismo y la Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

MIGUEL SEGUÍ BUENAVENTURA

EXPOSICIÓN ORGANIZADA POR EL INSTITUTO JUAN DE HERRERA Y LA DIRECCIÓN GENERAL PARA LA VIVIENDA, EL URBANISMO Y LA ARQUITECTURA DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE, CON LA COLABORACIÓN DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID









ENTIDADES COLABORADORAS Y PATROCINADORES TECNOLÓGICOS

Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Fundación de la Universidad Politécnica de Madrid
Grupo Digital 13
Kodak, S.A.
Faster Copy-Service
Laboratorios Serapio Carreño
C. E. 55, Correduría de Seguros
Mapfre
Tamex, S. A.
Iberia Líneas Aéreas
Fibras Reforzadas, S. A.













OTRAS COLABORACIONES

Juan de Dios Hernández
Juan Castro
Alumnos ETSAM de los Departamentos de Construcción y Estructuras
y Cátedra de Geometría Descriptiva

AGRADECIMIENTO A PERSONAS QUE HAN PRESTADO APOYO
ADICIONAL PARA HACER POSIBLE ESTE PROYECTO

Emilio Pérez Belda, Ángela Giral. Ricardo Aroca. Martha Thorne. Ana Buenaventura. Paco y Emilio Mínguez. Juan Carlos y Javier Melero. Javier Seguí. Sebastián Mata. Hans Peter Tesch Santiago Saavedra. Miguel de la Quadra-Salcedo. José Luis Alexanco. Valerie de la Dehesa. Sonsi. Alberto Torres. Yutaka Saito. Virginia Merino. Alejandra Weil. Manuel de la Dehesa. Belén Hebra. Santiago Calatrava. Jackeline de la Fuente. Manuel Hidalgo. Luis Maldonado. José Ignacio González. Serapio y Raúl Carreño. Teresa Zaragoza. Y sobre todo a los alumnos de la ETSAM.

Y ESPECIAL AGRADECIMIENTO A

Félix y Dorothy Candela

Aunque la casi totalidad de la obra de Félix Candela tiene lugar en México, y por tanto lejos de haber podido sentir y estudiar de cerca su gran aportación a la arquitectura mediante sus geniales intervenciones en las estructuras laminadas de hormigón armado, su talento profesional, su comprometida y directa participación en todas las construcciones, le llevaron a ganarse la difusión y la admiración internacional.

La figura de Félix Candela, además de por otras muchas cosas, como su distinguida sencillez y admirable modestia, destaca por haber sabido recobrar la tradicional actitud del arquitecto "maestro de obra" (donde los últimos ejemplos hay que buscarlos en Eiffel o Maillart), lo que le permitió saber desgranar y controlar todos los elementos participativos de las obras.

En Candela encontramos una transformación continua de los valores del espacio. Frente a una arquitectura de composición, de representación del sistema, de aceptación de un principio de autoridad, nos encontramos en Candela con una arquitectura de determinación de la forma, de determinación del espacio a través de la forma; arquitectura no de representación, sino de respuesta directa a las exigencias de la vida. La obra de Félix Candela debe entenderse como una actividad de creación constante, en la que la imaginación se nutre de la propia acción constructiva.

Esta exposición, organizada conjuntamente por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente y el Instituto Juan de Herrera de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y la colaboración de la Comunidad de Madrid, a través del Canal de Isabel II, permite la oportunidad de admirar los extraordinarios dibujos, croquis, apuntes y cálculos que sobre las estructuras laminares, las bóvedas hiperbólicas y los paraboloides hizo Félix Candela.

Borja Carreras Moysí
Director General para la Vivienda,
el Urbanismo y la Arquitectura



Félix Candela con una perspectiva del restaurante en
Xochimilco, México

ÍNDICE

CATÁLOGO

A MODO DE PRESENTACIÓN

RICARDO AROCA
Director de la Escuela Superior de Arquitectura

Félix Candela va a ser el primer arquitecto doctor Honoris causa por la Universidad Politécnica de Madrid.

Esta ceremonia hubiera debido tener lugar hace años y, como todo tiene un lado positivo, su insólita demora me proporciona el inmerecido, y por ello más apreciado, honor de oficiar en ella.

Félix Candela estudió en la Escuela de Arquitectura de Madrid en los años de la República, intervino activamente como estudiante en la necesaria reforma de la institución, cuyo plan de estudios había quedado desfasado en un momento histórico de cambio que se frustró cuando una parte del país trataba de impulsar la modernización de una sociedad que tradicionalmente se había mostrado poco receptiva a nuevas ideas.

La Guerra Civil le obligó a exiliarse a México sin tiempo para recoger su título de arquitecto –que luego le costaría años convalidar, y aún más consolidar–, por lo que se encontró en un país lejano sin más armas que su propia capacidad y sus conocimientos reales, sin la protección administrativa que proporciona una carrera, con independencia del aprovechamiento obtenido.

Salió adelante trabajando como delineante y constructor, y la mayor parte de su obra construida está realizada en calidad de colaborador de otros arquitectos que sí tenían título reconocido por el estado.

Con una sólida formación matemática y científica, se planteó la construcción de estructuras laminares, como solución práctica y económica para cubrir diversos espacios, que resultaron competitivas en el mercado. Pese a emplear soluciones que estaban muy por encima de la técnica constructiva a la sazón en México, supo traducirlas para que se pudieran ejecutar con los medios más elementales.

Mientras otros se planteaban cómo comprender el funcionamiento de estructuras que estaban en los límites de la capacidad real de análisis del momento, él las realizaba explorando las



Félix Candela. Banquete en Madrid celebrando su beca de estudios en Alemania. Julio de 1936

posibilidades constructivas y las implicaciones de su uso en el diseño. Descubría y resolvía los problemas prácticos, tanto de definición geométrica como de ejecución, analizando de forma suficientemente rigurosa su comportamiento con unos impecables planteamientos mecánicos; y empleaba el aparato matemático en la medida precisa pero sin llevar el rigor del análisis más allá de lo necesario para asegurar la correcta definición y la adecuada seguridad.
Su proceso de aprendizaje lo llevó a adquirir progresivamente una asombrosa capacidad de manejo de las formas con la certera intuición que sólo se logra con un conocimiento asimilado cada vez más profundo, que llega a expresarse en reglas geométricas lo suficientemente sencillas como para guiar los procesos de diseño.

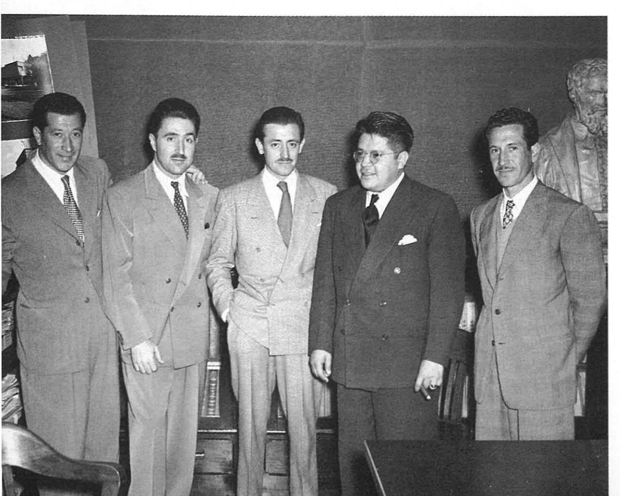
Su extraordinaria modestia le hace pensar aún que lo que para él es tan sencillo y obvio, también debería serlo para los demás, y que como consecuencia no tiene gran mérito; al cabo de los años sigue discutiendo en términos de ventajas económicas lo que es universalmente apreciado como delicadas creaciones de la mente.

El mundo tardó en descubrirlo, pero cuando lo hizo, no fue para el cuarto de hora de fama que según Andy Warhol nos corresponde a todos; desde hace más de treinta años Félix Candela sigue siendo el arquitecto español más universalmente conocido y el antiguo alumno de la Escuela de Arquitectura de Madrid que es más útil citar como referencia en el extranjero.

El mejor panegírico de Candela es su propia obra. Su confesada inclinación por la *utilitas* me autoriza a utilizar su figura para unas reflexiones oportunas sobre la enseñanza de la arquitectura, las instituciones que la imparten y la inserción del arquitecto en la sociedad en el momento actual, cuando está en marcha de nuevo una remodelación de los planes de estudio dentro de un proceso de cambio de la universidad.

En primer lugar, incidiendo de nuevo en la polémica, tantas veces reeditada, sobre la conveniencia de mantener una base científica y técnica en la formación del arquitecto, o escorar por completo la enseñanza hacia los aspectos artísticos y el desarrollo de la creatividad, cabría decir que Candela es un excelente ejemplo de que la intuición de un arquitecto debe ser una intuición educada. Para actuar sobre el mundo físico es imprescindible conocer profundamente sus leyes, a lo que ayuda grandemente la capacidad de formular y manejar modelos matemáticos de las formas y los materiales. Tal vez sea posible obtener obras geniales por la colaboración del soñador sin límites y el comprobador sin imaginación, pero las formas no salen de la nada. El "científico" con imaginación, que emplee su conocimiento como fuente de inspiración y no como limitación al ingenio, puede aspirar a la creación verdadera, mientras que el creador sin base deviene fácilmente el "creativo" de las campañas publicitarias, papel para el que, por otra parte, cada vez parece haber más candidatos con cuarto de hora de fama incluido.

En segundo lugar, está la confianza en la calidad de la enseñanza y el prestigio de la institución que la imparte. La conciencia de haber estudiado en una institución de primera



Tras su primera conferencia junto a Nabor Carrillo, Fernando y Raúl Fernández y L. Certucha. México, 1951

línea, que había experimentado un proceso de renovación, en el que Félix Candela participó como alumno en un momento de exaltación cultural de un país que intentaba incorporarse a la modernidad, le proporcionó, sin duda, la confianza necesaria en su capacidad y conocimientos para emprender cualquier acción: no basta saber, sino tener fe en que lo que se sabe es lo que hay que saber; que vale y puede ser usado.

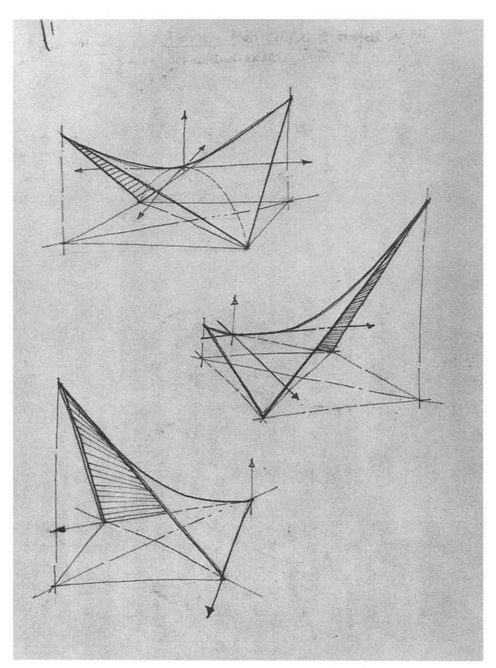
Por último, es obligado referirse al exilio. En el caso de Félix Candela, como en tantos otros, siempre nos hemos preguntado cómo habría sido el país con ellos, y qué habrían hecho de haberse podido quedar.

El argumento optimista es el que postula que, de haber podido usar el talento de tantos expatriados, que tanto éxito han tenido fuera de España, la historia del país habría sido distinta, y que, si no hubieran tenido que cambiar de medio, también la vida en España de los, desgraciadamente, exilados habría sido aún más fructífera.

Duele pensar por el contrario que el exilio y la obligación de empezar desde cero fue causa de enormes sufrimientos para los expatriados, pero también ocasión y acicate para sacar lo mejor de cada uno, y ello frecuentemente en medios más abiertos y menos agresivos que el nuestro, cuya incapacidad para reconocer y aprovechar los méritos ha sido repetidamente probada a lo largo de la historia.

La formación adecuada, con un profundo conocimiento científico básico; la confianza en su capacidad y en la institución donde estudió; la necesidad, consecuencia del exilio; y la oportunidad de encontrarse en un medio relativamente abierto, pusieron al joven Félix Candela en situación de abrirse camino. Su curiosidad científica lo llevó a explorar caminos no trillados; lo hizo con eficacia y rigor, y en el proceso surgió su genio, que era sin duda propio y no producto de las circunstancias, pero que tal vez no habría llegado a florecer de tan magnífica forma sin la conjunción de todas ellas.

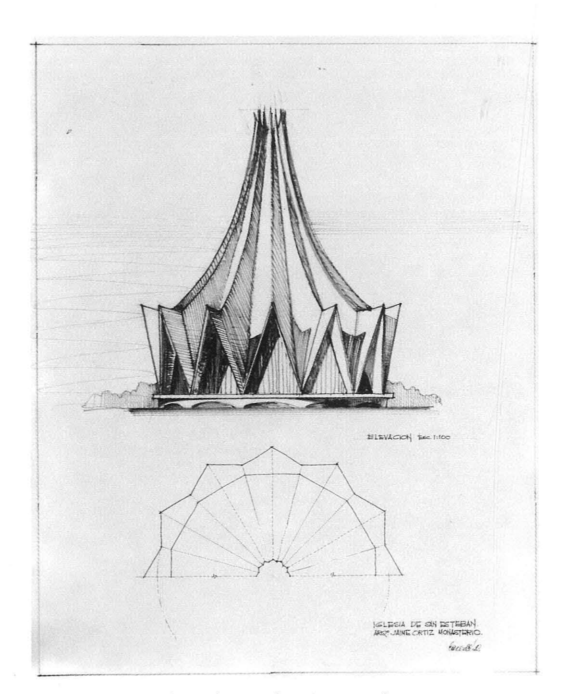
La Universidad Politécnica tiene el honor de investir como doctor a un antiguo alumno de una de las escuelas que ahora la componen: un genio real, no producto del despilfarro y de la moda, sino de la sencillez y de la economía, un constante cultivador del sentido común, un creador sin alardes y con un certero juicio sobre lo útil y lo posible, figura que contribuye como pocas al prestigio de la institución.



El paraboloide hiperbólico. Dibujos explicativos



Félix Candela con Castanedo y Peirí (arquitectos del Palacio de los Deportes de México). México, 1967



Croquis para la iglesia de San Esteban

EN TORNO A LA OBRA DE FÉLIX CANDELA

MIGUEL SEGUÍ
Comisario de la exposición

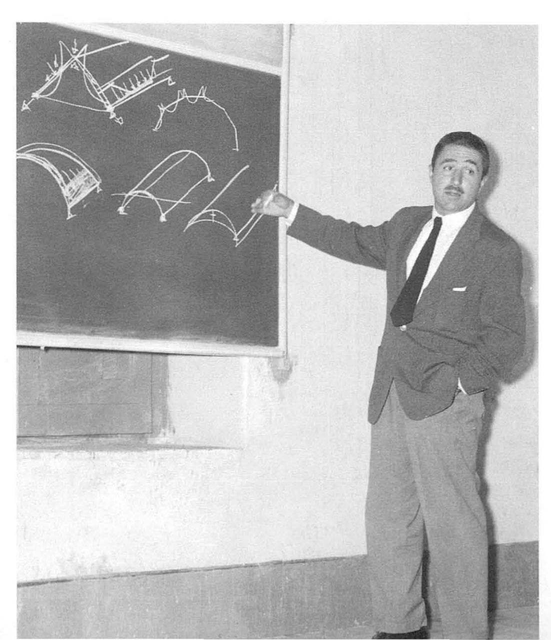
Esta exposición surge del deseo de enfatizar el homenaje que se rinde al arquitecto Félix Candela con ocasión de su nombramiento como doctor *Honoris causa* de la Universidad Politécnica de Madrid, por iniciativa de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, donde precisamente se formó como arquitecto hace casi sesenta años.

El hecho de que Félix Candela sea un arquitecto de renombre mundial del que apenas se conoce su obra (principalmente construida en México), justifica sobradamente el interés y la pertinencia de esta exposición.

La obra de Candela es única e impresionante. A pesar de no haber inventado formalmente las estructuras que le dieron fama, nadie como él ha logrado tan excitante variedad y profusión en la construcción de cascarones de hormigón armado.

Es cierto que estas estructuras sólo podían haber sido realizadas en nuestro siglo y, seguramente, sólo en un país con las condiciones climáticas y sociales que presentaba México tras la Segunda Guerra Mundial; pero, aun así, la razón de que en ese país haya aparecido tal cantidad y diversidad de estructuras laminares de hormigón armado, sólo la podemos atribuir a la personalidad de su creador. Merece la pena tratar de entender cómo este hombre, Félix Candela, produjo esta (entonces y hoy) insólita obra.

Entre las grandes cualidades que adornan a Candela quizás haya que destacar su honestidad intelectual que, como dice su gran amigo Ove Arup "le hace ir directamente al meollo del problema descartando aspectos secundarios, evitando todo tipo de ficción, pomposidad o turbiedad de pensamiento, y encarar los hechos positivamente, como son, y sin tener empacho en ello". Candela, cuando sabe algo, lo sabe realmente y es capaz de realizarlo, y lo que no entiende totalmente lo estudia con tesón, manteniendo siempre una distancia crítica que le permite discernir lo verdaderamente importante –lo que puede serle útil–, que pasa así a formar parte de sus herramientas mentales. Esta actitud comenzó a perfilarse ya en sus primeros años de formación. Aunque, según él mismo dice, pasó sus estudios sin pena ni gloria y no guarda casi ningún recuerdo de la escuela, sí hubo, al menos, dos asignaturas que marcaron una fuerte huella en su carrera: Geometría Descriptiva, en primero, y lo que antes se llamaba



Félix Candela dando clase en México, 1953

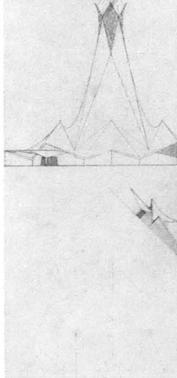
Resistencia de Materiales, en cuarto, asignaturas de las que el propio alumno Candela daba clases particulares a sus compañeros y editaba apuntes que luego vendía.

Su capacidad para "ver en el espacio" y su curiosidad por cómo trabajan y se tienen en pie las estructuras, le llevaron a centrar su atención sobre los aspectos más técnicos y arduos de la edificación arquitectónica antes que sobre aquellos más artísticos, para los que, según su siempre modesta opinión, no estaba tan bien dotado.

Esta curiosidad le llevó, ya acabada la carrera, a fijarse en las cosas que estaba haciendo Torroja por aquel entonces en España y en los estudios teóricos sobre estructuras laminares de hormigón que se llevaban a cabo en Alemania. Tras la frustrada oportunidad de estudiar con Finsterbalder en ese país, continuó más tarde (ya en México) sus estudios sobre este tema de una forma completamente autodidacta y heterodoxa. Recopilaba artículos de aquí y allá, traduciéndolos él mismo del alemán, el sueco, el inglés o incluso el checo, guiándose por referencias bibliográficas y, sobre todo, por su sentido común. Sentido común que le llevó a simplificar los complicados cálculos que poblaban la bibliografía estructural del momento, basados en hipótesis matemáticas ideales, en favor de una comprensión práctica más directa, efectiva y empírica de la construcción de estructuras laminares de hormigón armado.

A estos rasgos de su personalidad hay que añadir dos circunstancias notables para acabar de significar el alcance y la singularidad de la obra de Candela. En primer lugar está el hecho de que la actividad profesional haya sido enfocada por nuestro autor casi monográficamente en las cubiertas, estudiadas como estructuras que rematan los edificios, configurándolos. Por otro lado encontramos el no menos significativo hecho de que él no sólo actúa como un arquitecto, o como un ingeniero, o como un constructor, sino que aúna los tres papeles en su sola persona. Candela proyecta, calcula y es contratista al mismo tiempo, enlazando con la tradición ya perdida del arquitecto "maestro de obra" que viene de la Edad Media y cuyos últimos ejemplos más notables pueden ser Eiffel o Maillart. Esta situación le permite a Candela dominar todos los factores que afectan a sus diseños, y armonizar así lo deseable con lo técnica y económicamente posible. Se establece de esta forma una particular línea de pensamiento, de actividad intelectual, donde concebir y ejecutar, pensar y hacer están íntimamente ligados. Parte de este proceso, en el que una sola mente determina todos los factores de la creación constructiva, lo describe muy acertadamente Ove Arup cuando prologa el libro de Colin Faber sobre Candela:

> Como contratista conoce las técnicas constructivas disponibles y, cuando concibe un nuevo proyecto, está siempre pensando en el método de construcción y su economía, obteniendo esta última mediante su habilidad inventiva de ingeniero para reducir al mínimo el material de sus estructuras.
>
> Desdeña los cálculos complicados que aparentan una exactitud puramente ficticia (inútiles además en la oficina de un contratista), ya que, como diseñador, lo que le interesa es llegar cuanto antes a la apropiada disposición espacial del material estructural.



Croquis para una iglesia desconocida

El diseño se inicia con un sentimiento estructural obtenido por medio de la experiencia y guiado por cálculos aproximados.

En este proceso produce más y mejores resultados la aptitud para hacer la correcta conjetura inicial (lo que Candela llamaba la intuición), que una gran cantidad de matemáticas.

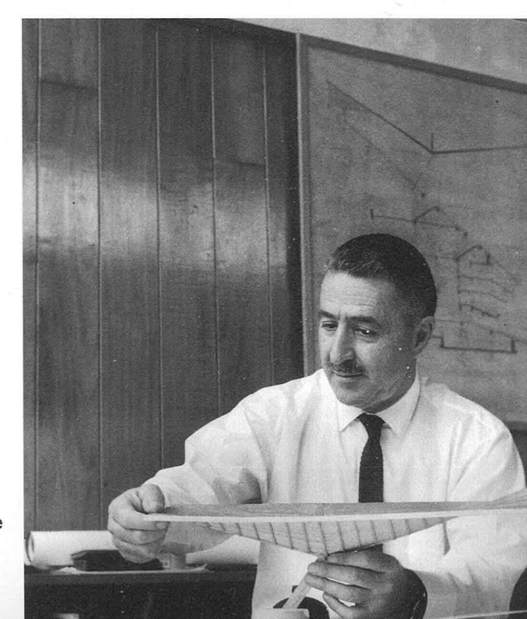
Para poder actuar de este modo, dice Candela que "es necesario un cierto grado de rebeldía", hace falta un deseo de sustituir el principio de autoridad por el principio de la experiencia. No se admite la autoridad del sistema y se hace residir todo el valor de la obra en la metodología de su realización. Esta crítica del sistema conlleva la búsqueda de una experiencia directa y, por tanto, de un método de la experiencia. Así, mientras la posición de un hombre del sistema es contemplativa, la posición del hombre del "hacer" o del hombre del "método" es una posición activa. En Candela encontramos una transformación continua de los valores del espacio directamente ligada a su actividad. Decíamos al principio que Candela no inventa formalmente nada, y es que el arte de la invención formal es el típico arte del sistema, mientras que quienes han renovado profundamente la arquitectura nunca han fijado su atención en cuestiones superficiales.

Así, frente a una "arquitectura de composición", de representación del sistema, de aceptación de un principio de autoridad, encontramos en Candela una arquitectura de determinación de la forma, de "determinación del espacio" a través de la forma, arquitectura, no de representación, sino de respuesta directa a las exigencias de la vida. No de contemplación del mundo, sino de actividad vital guiada por un proceso esencialmente crítico.

En el proceso creativo de Candela no se separan diseño y obra acabada. La creación está en el "hacerse" de cada obra y en el de la obra total. Mientras para el común de los arquitectos el diseño tiende a ser algo separado, concluido, y la obra realizada su consecuencia circunstancial, en el caso de Candela no hay solución de continuidad, no existe una *praxis* separada. La materia no se adapta a un diseño, sino que lo fuerza y determina en su propia posibilidad constructiva. Este proceso creativo de determinación por la experiencia y la acción queda envuelto en el carácter operativo de la técnica al servicio de la construcción, ya que la construcción es, en este caso, el medio y la medida de cada obra, y el principal móvil imaginario de cada proceso generador.

En este sentido se puede entender la obra de Candela como actividad creadora constante, en la que la imaginación se nutre de la propia acción constructiva, a la que los dibujos, cálculos, diseños y resultados sólo sirven como contrapunto crítico, como comprobación y extrañamiento que le permite corregir la dirección en su proceso.

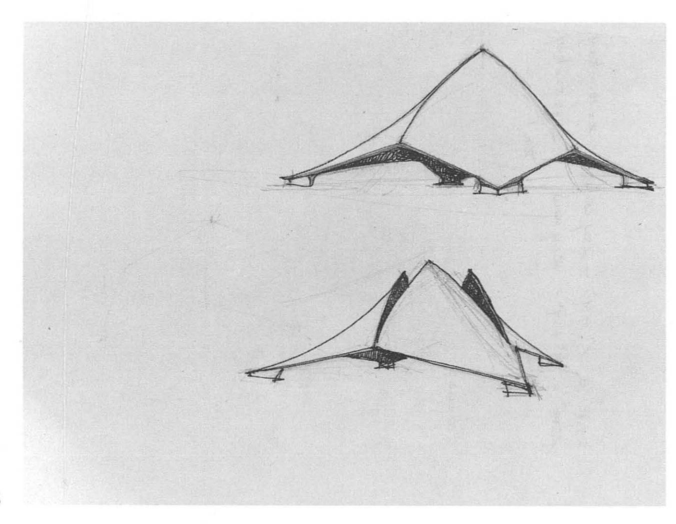
En este libro, así como en la exposición a la que acompaña, se ha tratado de presentar la obra de Candela según esta óptica, mostrando en una banda central fragmentos de los procesos constructivos, a los que se van sumando, como comprobaciones críticas, datos del



Félix Candela en México mostrando una maqueta de combinación de paraguas

diseño, del cálculo o del resultado final. Las obras se han agrupado por familias de formas en función de su complejidad y, dentro de éstas, por orden cronológico. No se han recogido las primeras obras de este arquitecto, ni aquellas construcciones que podríamos llamar de tipo "tradicional", por lo que empezamos directamente en el momento en que comienza a experimentar con las láminas delgadas de hormigón armado.

Tampoco se muestran, ni mucho menos, todas las obras construidas por Félix Candela y Cubiertas Ala, pero sí una representación lo suficientemente significativa como para darnos cuenta de la enorme variedad y cantidad de estructuras por él realizadas, y para comprender el proceso constructivo y creativo de su autor, sin el que este resultado nunca habría sido posible.



Croquis: combinación de hypars



Félix Candela en su oficina de México

SOBRE CANDELA
Una aproximación subjetiva

FREI OTTO

En noviembre de 1958 coincidí con Candela por primera vez. Él tenía por aquel entonces 48 años, yo 33, una generación de arquitectos de diferencia. Félix Candela estaba en la cúspide de su capacidad de creación y de producción artística. Yo no sabía que su gran obra estaba entonces casi terminada. Después de mi visita a su casa, sólo llevó a cabo unas cuantas construcciones más.

Él conocía mis obras y sobre todo mi libro *La estructura en suspensión*. Conocía mis cubiertas de 1955 y 1957 mucho mejor que yo sus estructuras. Entonces, sin embargo, se me brindaba la oportunidad de conocer durante toda una semana las obras de un hombre que, como arquitecto, ingeniero, contratista o escultor, era un gran maestro de la construcción. Quizá, también, un gran filósofo.

Así pues, esto nos facilitó el estudio de la arquitectura moderna mexicana, que por aquel entonces disfrutaba de alto reconocimiento internacional. Eran especialmente las obras de la modernidad clásica que Max Cetto había llevado a México, así como las del exaltado naturalista Juan O'Gorman y también las grandes esculturas de Goeritz, las que nos encadenaron al estilo mexicano antiguo.

Pero la mayor fascinación para mí emanaba de las estructuras de Candela que han permanecido imborrables en mi memoria. Aunque yo no era por completo ajeno al ámbito de la construcción de estructuras laminares, las obras de Candela me impresionaron intensamente. No me lo esperaba.

Yo mismo había construido en 1946 mis primeras pequeñas cúpulas, y había llevado a cabo intentos con las así llamadas "estructuras invertidas", con las cuales se pasa de la forma de membranas colgantes a las estructuras en forma de cúpula, y que, después de haber discutido con Eero Saarinen en 1950 y animado por la gran cubierta de mallas tensadas de Nowickis en Raleigh, me habían hecho aficionado a las mallas y las membranas y, desde 1954, también a las cubiertas. Las superficies extensas y delgadas lo habían conseguido. Ellas debían ser del mínimo de espesor que se pudiera alcanzar.

El plano de superficie más sencillo es el tablero plano o forjado. Las estructuras de cascarón



Con Frei Otto. Stuttgart, 1960

pertenecen a los mismos tipos de estructuras que las cúpulas o cubiertas. Son estructuras alabeadas formadas por planos. Estas estructuras son rígidos planos de superficie curvados. Las cáscaras de nuez y de huevo, muchos objetos de cristal y de porcelana, muchos cascos de barcos y fuselajes de aviones son estructuras laminares. La curvatura aumenta la rigidez. Las estructuras laminares se diferencian claramente por su rigidez ante la presión y la flexión de las estructuras curvas formadas por planos pero con una curvatura no rígida, como la de las cubiertas, mallas, velas y membranas infladas.

En Félix Candela, con quien tanto me une desde nuestra visita a México, conocí al maestro de la construcción de cascarones. Utilizaba todas las formas de láminas en principio conocidas: la lámina en forma de cúpula o la lámina cilíndrica y sobre todo la lámina reglada, como las superficies alabeadas, los cascarones paraboloides hiperbólicos (abreviado, hypar) o hiperboloides. Candela construía también láminas onduladas y láminas que semejaban papel plegado, las llamadas "plegadas". Todas sus láminas son extremadamente finas. Están hechas de mortero reforzado o de hormigón, y se preparan sobre un encofrado de madera.

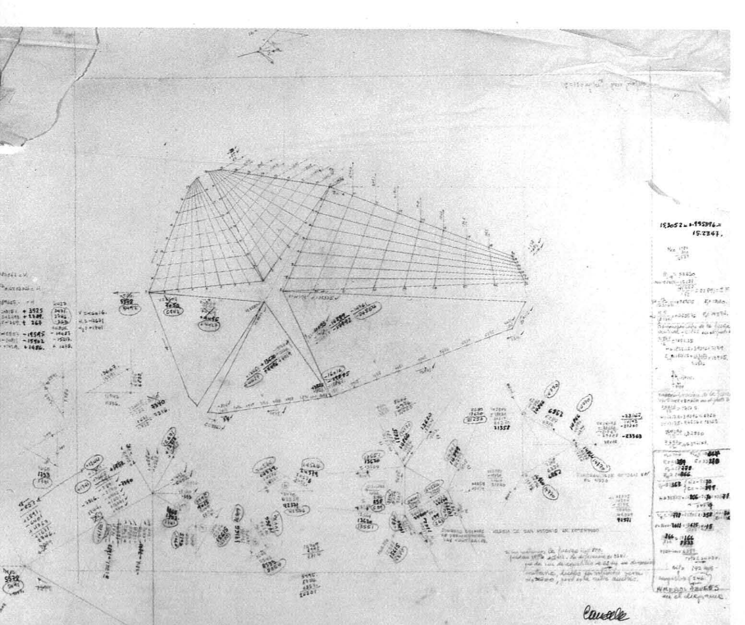
Alrededor del año 1950, siendo estudiante en Berlín, había estudiado las estructuras laminares en la cátedra de Dischinger, representada por Sattler. La lámina cilíndrica disfrutaba por aquel entonces de gran éxito y se utilizaba para las cubiertas de soportales o naves industriales. Necesitaba refuerzos en los apoyos, debía tener al menos 8 cm de espesor y requería una armadura compleja. Su resistencia igualaba a la de una viga. En Alemania, esta lámina cilíndrica presentaba una forma sencilla, pero su construcción era complicada; sólo en raras ocasiones se la abordaba. Era aburrida.

Los cascarones de Candela tienen formas complejas pero son fáciles de construir. Tienen menos de la mitad de espesor y su armadura es relativamente sencilla.

Inolvidables son las impresiones de México en 1958, del país y la ciudad. Los mercados estaban cubiertos íntegramente por toldos. Las plazas, iglesias y esculturas de Candela podían encontrarse en muchos lugares: velas de piedra artificial, resistentes a las condiciones atmosféricas y estables ante los terremotos. Sus costes eran muy bajos y el "contratista" Candela los controlaba muy bien.

Admirábamos la luz y las sombras de estas cubiertas curvas y quebradas. Era algo único, un mundo nuevo, una nueva familia de formas, una nueva arquitectura. Para estas construcciones, que se levantan sobre los pantanos de Ciudad de México y que de vez en cuando son sacudidas por duros terremotos, la ligereza es una gran ventaja. En ellas, la cimentación está reducida, y en consecuencia se aminoran las cargas sísmicas. Las gruesas cubiertas "alemanas" se verían en dificultades para sobrevivir en México.

De las cúpulas y bóvedas de piedra es muy fácil el paso a las estructuras laminares de hormigón. Las láminas reforzadas con acero son, sin embargo, de un mayor rendimiento que



Cálculos de esfuerzos para la cubierta de la iglesia de San Antonio en Xotepingo

las cúpulas y bóvedas, puesto que pueden aumentar la fuerza de tracción. Con ellas se pueden construir formas que serían impensables con estructuras de piedra no reforzadas.

Fue sobre todo durante los años veinte cuando el hormigón armado descubrió un nuevo mundo para el arte de construir. Dischinger en Alemania, Torroja en España y muchos otros ingenieros y arquitectos se dedicaron a la estructura laminar. Era especialmente apta para las naves industriales, los hangares de aviones y los planetarios.

En varios países (también en Alemania) se experimentaba con láminas muy finas, con un espesor de tan sólo 15 mm. Candela no era entonces el único. Después de la Segunda Guerra Mundial, junto con las láminas cilíndricas, también se hicieron populares las láminas hypars y las hiperboloides.

Las delgadas superficies de los cascarones están a menudo sometidas a esfuerzos de compresión. Los esfuerzos de compresión dan lugar a plegamientos y abolladuras en la superficie de las láminas. Especialmente sensible es la lámina cilíndrica; menos sensibles son, por el contrario, las láminas en cúpula y la bóveda de aristas.

Los hypars y los hiperboloides eran las nuevas estrellas en el firmamento de las cubiertas de los años treinta y cuarenta. Eran rígidas y de fácil construcción, al tiempo que podían ser delgadas. Su contracurvatura reglada proporcionaba la esperada rigidez. Las jácenas y nervaduras podían derrumbrarse así como, a veces los soportes laterales. El hormigón de tales láminas se puede verter, apisonar o inyectar sobre los encofrados.



Restaurante Los Manantiales.
Xochimilco, México D. F., 1957.

A través de mi estudio estaba familiarizado con la lámina paraboloide hiperbólica. En 1951 experimenté con un plano arqueado de superficie rígida, parecido a la paraboloide hiperbólica, en forma de superficie mínima, es decir, la vela o malla entre cuatro puntos, dos altos y dos bajos. En 1955 construí la primera vela en Kassel y, en 1957, en Berlín y Colonia.

De forma totalmente independiente uno de otro, y sin sospecharlo, proyectamos Candela y yo dos construcciones parecidas. Candela, su lámina ondulada en estrella sobre las aguas de los jardines flotantes de Xochimilco, terminada en 1958; yo, la cubierta ondulada en estrella sobre el agua del Tanzbrunn en Colonia, terminada en 1957.

Ambas construcciones tienen cometidos parecidos y el mismo tamaño con una forma similar. En la construcción yace la diferencia fundamental: la obra de Candela es una estructura laminar fuerte, duradera pero delgada; mi techo del Tanzbrunn es una cubierta transparente, proyectada sólo para un verano. Las dos construcciones permanecen aún hoy.

Ambas eran, y son, excepcionales referencias de nuestro trabajo. Caracterizan el punto de partida hacia la paz después de la Gran Guerra. Delimitan una época en que la arquitectura ya no necesita de grandes masas. Muestran que es posible trabajar con superficies

alabeadas: bien construidas pueden ser ligeras y estables; cuidadosamente proyectadas originan un encanto especial.

Desde 1945 muchos arquitectos e ingenieros han experimentado con las estructuras laminares. Sólo un hombre, Félix Candela, logró convertirlas en una obra maestra. Aportó muchas nuevas creaciones a la construcción de cascarones. Creó nuevas formas y métodos de construcción. Se concentró especialmente en las cubiertas hypars, las superficies alabeadas, rígidas.

En 1962, en Monterrey, California, volví a encontrarme con Candela como conferenciante en la primera gran conferencia internacional sobre la construcción de cascarones. Por causas totalmente personales, estaba a punto de dejar México para establecerse en los Estados Unidos. Esto significaba el fin de la construcción de láminas de primera categoría y no sólo en México. En realidad continuaron construyéndose láminas en todo el mundo, sobre todo en Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Japón. Los hypars poblaban muchos países. Las imitaciones de Candela estaban *"in"*, pero el arquitecto Candela estaba *"out"*. Las grandes oficinas de arquitectos ofrecían la arquitectura de Mies van Der Rohe, los cascarones de Candela, las cúpulas de Fuller y más tarde también las cubiertas de Frei Otto, sin mencionar al creador.

Para Félix Candela esto fue especialmente duro. Por un lado se le reverenciaba ampliamente, se escribían libros sobre él; por otro, desde mediados de los años sesenta ya nadie quería las láminas hechas por él. Tampoco había ningún seguidor que hubiera alcanzado la calidad de su obra. Fue llamado a tomar parte en el proyecto para el estadio Olímpico para los Juegos de México en 1968. Si bien su contribución era fácilmente reconocible no sirvió, sin embargo, para transmitirme una gran fascinación por el conjunto.

Junto con algunos amigos, intenté sin éxito propagar la obra de Candela en las universidades alemanas. En vano lo propuse para el doctorado Honoris causa. Profesores de ingeniería valoraban a Candela igual que a Fuller o a Nervi como arquitectos que obraban de forma poco científica. Los profesores de arquitectura lo tildaban de ingeniero que no realizaba proyectos. Sin embargo, no se consideraba vergonzoso construir una imitación de la cubierta de Xochimilco en hormigón con fibra de vidrio de 10 mm. de espesor. Ésta se resquebrajó y desapareció. No se pudo imitar ni una sola vez. Uno de los pocos constructores de láminas de hoy es Heinz Isler, cuyas delgadas, fuertes y elevadas láminas de cúpula han sido creadas según procesos de invención formal propia con métodos especialmente económicos, y que poseen una belleza intrínseca.

Las grandes luces se construyen hoy con mallas y membranas como planos principales de las cubiertas de varias aguas y estructuras inflables. ¿Han superado las mallas y las membranas a las láminas? Puede afirmarse, si con ello se entiende que una construcción ha aventajado a otra en su uso técnico. Una técnica de construcción puede envejecer, pero no el arte. Como construcción artística la lámina no envejece. Su ámbito de utilización está en las cubiertas y



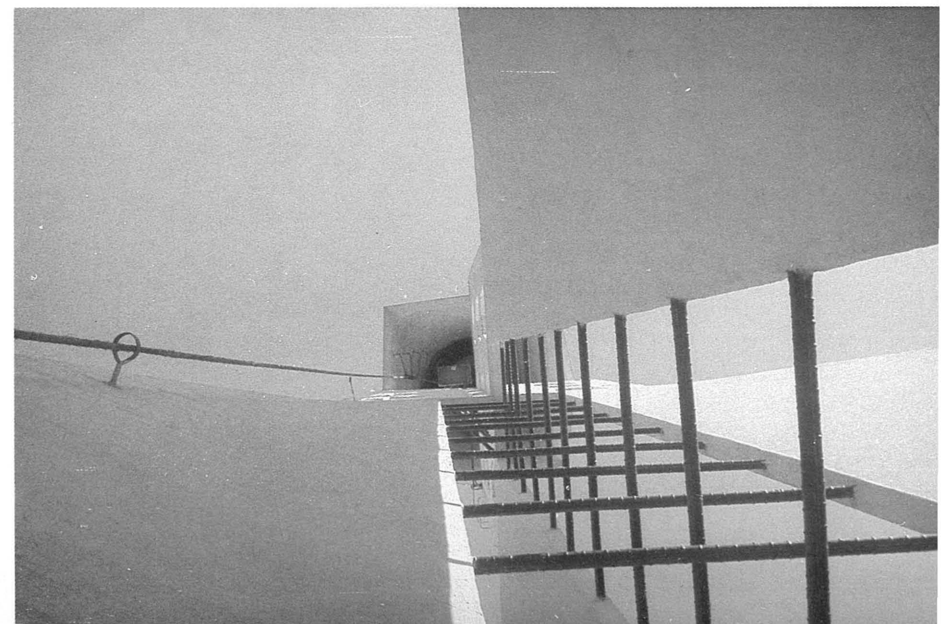
Conferencia en Milán. Abril de 1974

cerramientos de pequeña o mediana luz. Candela siempre lo ha sabido y así lo ha señalado.

En enero de 1992, ya con 82 años, habló para el público de Stuttgart y Múnich. Los auditorios estaban abarrotados. El respeto, por parte de la "generación de descendientes" fue extraordinario. Tras la época de florecimiento del posmodernismo y del deconstructivismo, este este renovado interés resultaba sorprendente.

Para sus amigos, Candela no dijo nada nuevo, pero sí para los estudiantes que no lo conocían y que entonces por fin tuvieron un primer contacto con él. No creo que vaya a producirse un renacimiento a nivel mundial de las láminas de este arquitecto, pero existe una nueva atención por lo *minimal* y por la estética de Candela. Sus ideas permanecen actuales, sus formas de construcción son intemporales.

Me enorgullece tener la oportunidad de sumarme al bien merecido homenaje que se le rinde en Madrid por su doctorado Honoris causa y participar en el proyecto de su exposición que acompaña a este libro.



Campanario de la iglesia de la Milagrosa, México



Construcción de la iglesia de la Virgen Milagrosa.

EL ARCHIVO DE FÉLIX CANDELA EN LA AVERY ARCHITECTURAL AND FINE ARTS LIBRARY DE LA UNIVERSIDAD DE COLUMBIA

ÁNGELA GIRAL

Sencillez y modestia son tal vez las palabras que mejor caracterizan a la persona que conocemos como Félix Candela, cualidades que pueden sorprender a quien anticipe otra cosa del personaje sobre el que se ha publicado un libro donde se le llama *The Shell Builder* (constructor de cascarones), además de cientos de artículos en revistas de todo el mundo; que ha recibido honores de sociedades y universidades de gran alcurnia y ha dado clases y conferencias en múltiples universidades del Viejo y el Nuevo Mundo y que ha creado estructuras tan extraordinarias como la capilla abierta de Cuernavaca, el restaurante Los Manantiales de Xochimilco y el Pabellón de Rayos Cósmicos en la Ciudad Universitaria de México, el Palacio de los Deportes y la iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa.

El mismo Félix, hablando de Ove Arup, dice que siempre le ha resultado difícil considerar separadamente a un hombre de su obra y que "afortunadamente, suele ocurrir que los grandes artistas son también magníficas personas". Si bien yo no estaría de acuerdo en gran parte de los casos, este juicio a él le queda a la medida.

La obra de Félix Candela es esencialmente arquitectónica por lo que vale aquí citar la definición que de lo arquitectónico hace Kenneth Frampton en sus apuntes sobre el regionalismo crítico: "Hay que recordar que la palabra 'arquitecto' deriva del término *architekton,* que en griego quiere decir constructor jefe. Es así como el término arquitectónico se refiere no sólo a la técnica de apoyo del edificio, sino a la mítica realidad de este logro estructural, o sea que lo arquitectónico exhibe el modo como el artífice entra en contacto con la naturaleza, no sólo en términos de gravedad, sino también en lo que se refiere a su durabilidad frente a los estragos del clima y el tiempo."

Hablando de otro arquitecto contemporáneo, dice Candela que "las dificultades de todo orden pueden ser una de las condiciones que estimulen el genio creativo", y es así como él se ha considerado hombre de suerte por haberse enterado a tiempo de que había que defender el gobierno de la República contra la rebelión de su propio ejército, tarea para la cual se ofreció, trocando un billete de tren por un fusil republicano. Gracias a ello no hizo un doctorado sobre estructuras en Alemania, sino que templó su carácter y su talento en la batalla del Ebro, y en el campo de concentración de Saint-Ciprien. De allí lo sacó el destino para



Con Mies van der Rohe y su nieto. Charlottesville, Virginia, 1966

llevarlo a México, país en el que, según el propio Candela, de veras se hizo arquitecto, como decía Antonio Machado, "haciendo camino al andar".

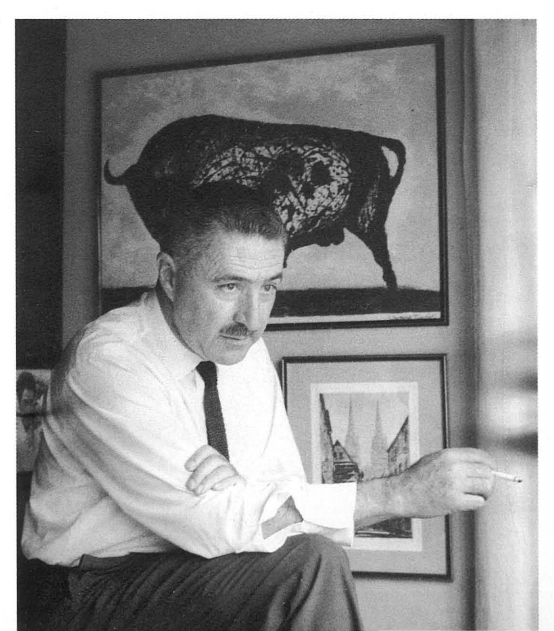
Fue en México donde Candela ha dejado una obra de singular originalidad que le ha valido el reconocimiento mundial y donde pudo desarrollar sus teorías de las estructuras y aplicarlas en la creación de cubiertas laminares para grandes espacios arquitectónicos.
Afortunadamente para mí, sin embargo, ha sido Nueva York, concretamente en la Avery Architectural and Fine Arts Library de la Universidad de Columbia, que tengo el honor de dirigir, donde Candela decidió depositar su archivo. Allí conservamos sus croquis, sus apuntes, sus dibujos, sus cálculos, su abundante correspondencia con los mejores cerebros del mundo arquitectónico y con amigos y correligionarios políticos; su extraordinaria colección de artículos en ocho o diez idiomas sobre las estructuras laminares, las bóvedas hiperbólicas y los paraboloides. Allí hay unos dos mil dibujos y unos cuatrocientos pies cúbicos (unos 12 m^3) de documentos a disposición de estudiosos e investigadores; y de allí ha salido la documentación gráfica tan estupendamente seleccionada y presentada por Miguel Seguí en este catálogo y en la exposición a la cual acompaña.

También tenemos allí el archivo de otro español que dejó su mejor obra en el Nuevo Mundo. Rafael Guastavino, valenciano como el abuelo de Félix Candela, llevó a los Estados Unidos la bóveda catalana, que allí se conoce como *Guastavino vault* y su Guastavino Fireproof Constructing Company permitió que los arquitectos más importantes de principios de siglo construyeran grandes espacios interiores en todos los estados del país.

Para concluir creo que no hay mejores palabras que las del propio Candela en una carta escrita en 1959 que se encuentra en el archivo:

> Somos españoles, si es que ha de seguirse usando tal palabra, pero pertenecientes a una comunidad más amplia. ¿De qué ha valido si no nuestra dispersión por el mundo? Una de las primeras cosas que hay que hacer, y hacer con urgencia, es acabar con los nacionalismos estrechos, si queremos que nuestra civilización subsista. Creo que nadie mejor que nosotros que, queramos o no tenemos dos patrias, puede propagar esta idea urgentísima.

Yo me adhiero a este pensamiento al expresar mi enorme satisfacción por haber podido colaborar en que el conjunto de la obra de Félix Candela se presente por primera vez en la España en que ambos nacimos, en conjunción con el congreso del ICAM (Confederación Internacional de Museos y Archivos de Arquitectura).



Félix Candela, México

DIÁLOGO ALREDEDOR DE LA OBRA DE DON FÉLIX CANDELA OUTERIÑO
Charla con Miguel Seguí, Ricardo Aroca y León Benacerraf

SANTIAGO CALATRAVA

... La Modernidad en la obra de Félix Candela se puede entender a través del análisis crítico de acontecimientos contemporáneos, tanto en el campo de las estructuras y la construcción, como en el campo de la Plástica pura. Sus obras nos presentan una personalidad artística donde convergen el Arquitecto, el Ingeniero, el Constructor, el Maestro de Obras,... y junto a la definición formal que éstas puedan tener, subyace el carácter experimental impregnado de su presencia a lo largo de todo el proceso, desde la idea conceptual , pasando por la ejecución hasta llegar a la obra acabada, siguiendo el criterio del *Magister Operi* clásico.

La construcción es en cierta medida la base de su forma de obrar. Él proyecta, pero basicamente construye. Su proceso de diseño es como una abstracción de lo que significa la construcción de la obra que él esta proponiendo; es un proceso constantemente abierto.

Además de ser un pionero de las estructuras delgadas, de las estructuras laminares, etc..., aparece una personalidad que recoge el hormigón como único material de trabajo, utilizando geometrías muy precisas en un esfuerzo de síntesis, haciendo recordar quizá la idea de Cezanne "hay que aprender a mirar la naturaleza en forma de conos, cilindros, esferas y pirámides."

El entendimiento de la obra podría incluso establecerse siguiendo criterios minimalistas en una posible lectura de la limitación de su campo de actuación a variables muy determinadas, concentrándose en el uso de geometrías particulares, de técnicas particulares, de un material particular, para la creación de una obra de gran dimensión artística.

En este sentido, la cualidad de artista no surgiría simplemente en una posible relación de su obra con la de otros artistas arquitectos que elogiaron su obra (como Mies van der Rohe), sino sobre todo en relación con otros artistas puros que, en un pasado no lejano entre las obras de Candela y nuestra época, han trabajado igualmente dando un gran énfasis a la utilización de criterios específicos; estoy refiriéndome a los artistas *Minimal* americanos, *arte Povera*,... pero tambien a aquellos artistas que se aproximan al proceso de creación artística, como podría ser Joseph Beuys y otros que se mueven dentro del ámbito del *Performance Art.* Es fácil percibir en la obra de Candela la gran importancía del proceso e incluso el valor estético de este

proceso, transmitiendo la idea de que la obra no es un resultado final sino el resultado de una concatenación de estados intermedios, todos ellos de un alto valor intelectual, además de la propia coherencia de los métodos utilizados

Otro aspecto paralelo, es la proyección de la obra de Candela dentro del ámbito de la arquitectura y la construcción como concepto científico o teórico-mecánico. El campo de trabajo elegido, a pesar de tener una base artesanal muy profunda, está impregnado por el uso de conceptos geométricos avanzados, como son la geometría del paraboloide hiperbólico, del elipsoide, de la esfera, del conoide, del cilindro,... su obra tiene por tanto una gran carga de análisis geométrico y matemático. Este aspecto forma parte de la fascinación de esta obra (sobre todo para los que nos aproximamos a ella como arquitectos), donde encontramos, junto a una importante componente intuitiva, un análisis estructural muy complejo. Hoy en día, estos cálculos requerirían métodos de computador muy avanzados, que difieren de los métodos de análisis que utilizaba Candela, pero que subrayan la importancia de su formación académica en el marco de las Escuelas Técnicas Superiores españolas en las que el aprendizaje de las matemáticas y de la geometría descriptiva impregnaba toda la enseñanza. La paradoja que se establece entre la intensa base científica del Maestro y los medios de los que disponía en México para la construcción de encofrados, dosificación de hormigones, etc... refleja un carácter extremadamente audaz que subyace en todos los aspectos de su obra.

Para Candela, la Arquitectura es construir, no sólo lo que queda en los dibujos, sino proponer espacios vivibles,... existe una parte visionaria.

Existen en la obra de Candela conjuntamente tres aspectos muy importantes: modernidad, abstracción y cientifismo. Una visión puramente abstracta de la naturaleza que conlleva una gran carga teórica, además de la propia carga teórica científica necesaria para el análisis y diseño de aquellas obras y finalmente el conocimiento constructivo profesional necesario para la realización de las construcciones.

En esta lectura, la estrategia proyectual de Félix Candela adquiere un valor contemporáneo fundamental.

Más allá de la nebulosa del *Postmodern*, la obra de Candela aparece con una precisión extraordinaria muy dificil de alcanzar, porque requiere, además de unos conocimientos muy profundos y un gran pragmatismo profesional, un talento que solamente él tiene, lo que le hace muy difícil de abordar académicamente sin que por ello su importancia no se haga incluso más evidente y nítida.

Existen desarrollos muy importantes de estructuras a tracción en la misma época en la que Candela desarrollo su obra que podrían de alguna manera, quizás formalmente, recordar algo de su trabajo o ponerlo de manifiesto...

...La obra de Candela va indudablemente mucho mas allá de las estructuras tensiles en lo que

se refiere a su contribución a la arquitectura. Las estructuras de Candela se diferencian fundamentalmente de las tensiles en que por la naturaleza del material empleado trabajan a compresión. El trabajo a compresión asimilable a materiales de origen mineral como los hormigones, cementos, piedras, arcos, es mucho más difícil de entender en la complejidad de su funcionamiento frente a la immediatez de una catenaria, un cable,... Leonardo al referirse al arco decía que éste estaba compuesto de dos debilidades, que se suprimen una a otra y se convierten en una sola fortaleza. El concepto de tectónica esta ligado fundamentalmente a la compresion, es un nivel de entendimiento superior al hecho simple de colgar un elemento que pueda soportar una carga a tracción.

La complejidad de las estructuras a compresión es evidente no solo en un nivel puramente técnico, sino en varios niveles, constructivamente, artísticamente, filosóficamente,...siendo mucho mas natural y radical incluso.

La actitud de Candela desde el origen de su obra ya está marcada por la elección de este tipo de estructuras que, aunque en un principio pueden tener formas similares a las tensiles, son tremendamente diferentes. Se percibe una lectura abstracta de la naturaleza, sugiriendo las formas mas arcaicas y mas elementales de los moluscos, con la belleza y el ritmo de un baile petrificado, que es lo contrario de una reproducción mimética de las formas naturales a partir de un cientifismo aparente como lo hacen la estructuras a tracción. La utilización de un material pétreo para reproducir una forma blanda es un gesto muy fuerte de abstracción y la calidad de la abstracción mide la calidad de este gesto. Desde mi punto de vista, una actitud como ésta sólo puede ser tomada en un origen por un artista.

Toda obra de arte es una interpretación del mundo, de lo que estás contemplando; una determinación de la percepción que crea e intenta un mundo distinto. Al fin y al cabo, una obra de arte no es sino una ofrenda al arte...

Podrían estas arquitecturas tener algo que ver con el expresionismo de Poelzig, Mendelsohn,...

La actitud de Candela es exactamente la misma que la de los expresionistas en cuanto al desarrollo de formas libres así como en el uso de algunos materiales sólidos, aunque su arquitectura no se pueda caracterizar como una arquitectura expresionista. A pesar de ello, las premisas de partida son sin duda similares, en la concepción estructural, formal y material, a la torre Einstein de Mendelsohn, o al Pabellón de vidrio de Bruno Taut, coincidiendo en el entendimiento del concepto clásico de la arquitectura desde la visión tectónica.

El uso del vidrio es similar al del hormigón o la piedra, muy diferente de nuevo a las estructuras tensiles...

Hay que decir que la obra de Candela es fundamentalmente de hormigón, no es una obra que busca la dualidad material y cuando recurre al vidrio lo hace con un espiritu claramente expresionista , en la transición entre dos espacios , dandole una gran importancia a la

conducción de la luz, utilizándolo siempre en los espacios intersticiales, a modo de puntos de sutura entre elementos estructurales diferenciados.

...El hecho de que Candela tuviese interés en el conocimiento de las estructuras más modernas, que en los años treinta eran de hormigón, nos ayuda a situar su obra en una tradición arquitectónica y a suscribirla en una posible escuela. La obra de Perret, con un gran desarrollo del hormigón, y la de algunos ingenieros, como Dischinger y Finsterbalder en Alemania, sensibiliza la atención del joven Candela. En esta misma época, en España se construye la boveda del frontón de recoletos de Zuazo y Torroja y también otras obras de Arniches y Martín Domínguez. Junto al interés por los primeros ensayos de bovedas delgadas semejantes a las realizadas por Maillart en Suiza, donde construyó un pabellón para la exposición Nacional en Zurich, es presumible que Candela conociera las bóvedas tabicadas de origen mediterráneo, haciendo trascender su obra dentro de una tradición que, probablemente podría remontarse hasta la obra del gran arquitecto catalán Antoni Gaudi o incluso hasta el gótico si pensamos en la catedral de Gerona.

Candela trabaja con una tradición propia del país, de la gran escuela de constructores españoles que parte de una relación con la tradición arquitectónica clásica a través de la enseñanza en las escuelas técnicas superiores.

La tradición en la que se enmarca la obra de Félix Candela se contrapone totalmente a las estructuras ligadas a una imagen de bricolage, adaptándose perfectamente a su figura de maestro de obra.

Hay ejemplos de arquitecturas contemporáneas ligadas a figuras importantes como Renzo Piano o el despacho de Ove Arup, donde se desarrollan arquitecturas de envoltura, de epidermis, basadas fundamentalmente en la elección de un material y en el estudio de uno o diversos detalles para la resolución global; resolviendo en un microcosmos el problema del macrocosmos a través de la adición de piezas, creando esa especie de arquitectura de empaquetado.

En el caso de Candela, es evidente que la concepción es global, y es la misma piel la que recubre todo con un gesto que es síntesis de envolvente exterior, definidora de espacio interior y controladora de luz.

Creo que tendría interés ver qué puede significar o cuál es la aportación de la obra y la persona de Félix Candela para cada uno de nosotros, como arquitectos de generaciones posteriores.

La persona y la obra de Félix Candela han sido para mi reveladoras tanto por sus características formales y materiales, como por la filosofía y todo lo que significa de realización arquitectónica. Algunas de mis obras, sobre todo obras tempranas, están hechas en admiración a los trabajos de Félix Candela y en ellas me enfrento, si no a una reinterpretación, si a un ensayo de formas o de actitudes de trabajo semejantes a aquellas que

yo he sentido, con una visión crítica, en la obra de Candela. Desde este punto de vista, son ensayos de aproximación a la obra de este gran arquitecto.

Por otra parte, la personalidad de Félix Candela me ha puesto frente a una herencia casi perdida para muchos de los arquitectos de mi generación, que es la de la España de los años treinta. Toda su vida es un testimonio valiosísimo de honestidad profesional y personal, y ejemplo para los arquitectos que estamos trabajando y, sobre todo, para los arquitectos de generaciones más jóvenes.

Hablando de la persona de Félix Candela, cabe destacar su relación con otro arquitecto español, el desgraciadamente desaparecido Emilio Pérez Piñero. No es casual que Candela fuese el mentor de este arquitecto, y que además fueran grandes amigos, ya que ambos compartían reciprocamente intereses en el ámbito de la concepción arquitectónica y del entendimiento de la arquitectura.

Esto es muy importante. Es precisamente el modo de enfrentarse a la arquitectura como proceso creativo constantemente abierto, lo que debemos retomar de estos dos grandes arquitectos. Entender la arquitectura como una propuesta vital...

Este camino abierto por Candela y Pérez Piñero es una alternativa interesante en los actuales momentos de crísis.

Queda una huella en la memoria de estas ideas que podemos sintetizar en imágenes de la propia obra de Candela. Hablabamos de la abstracción de la naturaleza como obra de arte en sus estructuras, que se integran en su contexto como elementos naturales dentro del propio paisaje, como extraños esqueletos o fósiles de la propia imaginación de Félix Candela, esqueletos de un proceso vivo que ha ocurrido dentro y que sólo adivinamos por las huellas restantes en su interior.

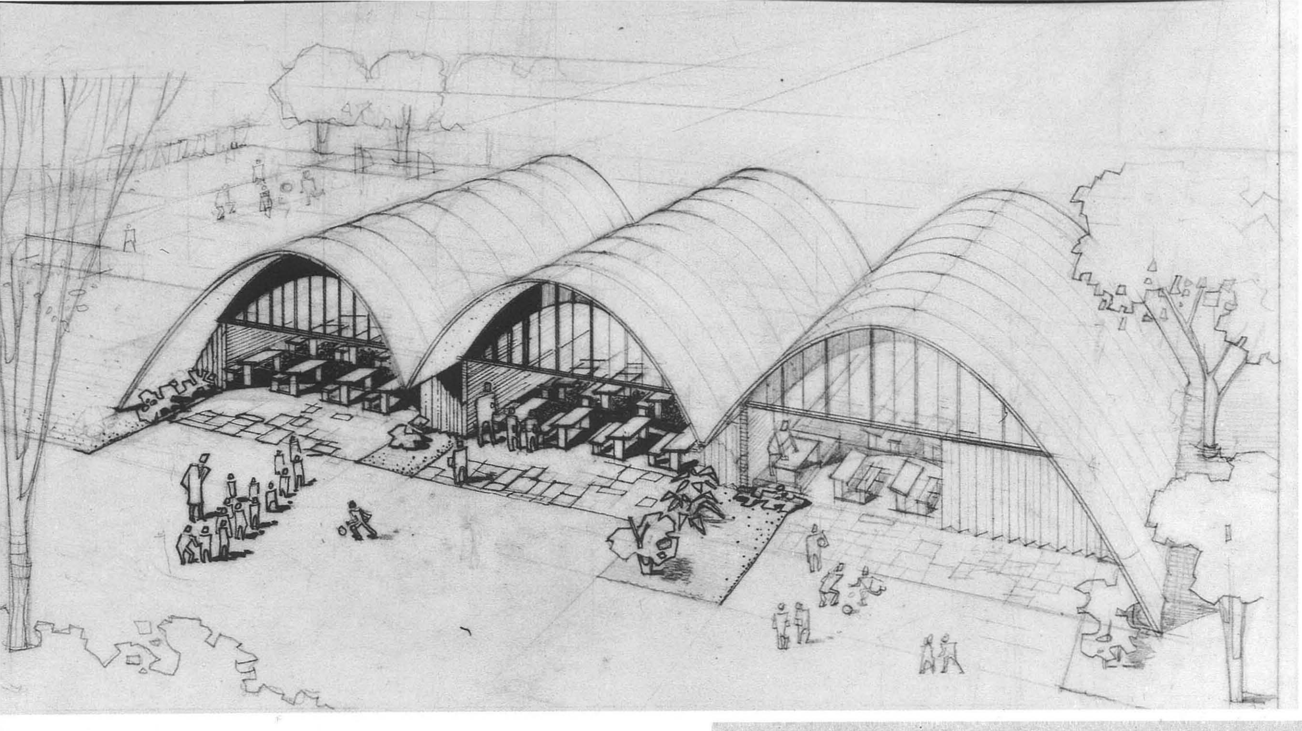
Junto con estudios y proyectos para losas plegadas de hormigón, las primeras láminas con las que se experimenta son bóvedas antifuniculares del tipo "ctesiphon" (inglesas), sin acero de refuerzo y con la aplicación de encofrados de tela de saco.

El primer "cascarón" de hormigón armado que construye Cubiertas Ala es en forma de conoide (de antecedentes franceses), con una luz de 14 m y un espesor de 3 cm. En su construcción se prolongan las columnas para atirantar por encima del cascarón y facilitar así el descimbrado. Se aprende con esta obra que la rigidez intrínseca de estas losas de doble curvatura permite no ser tan estricto como decía la teoría.

Pronto se experimentan las bóvedas cilíndricas largas, con luces de unos 12 m, llegando a prescindir de vigas de borde. Calculándolas como vigas huecas de sección cilíndrica se construyen también cubiertas en diente de sierra, utilizando estas bóvedas cilíndricas largas.

Al aumentar el vano cubierto por las bóvedas, éstas han de acortarse para evitar flexiones transversales. Aparecen así las bóvedas cilíndricas cortas. Éstas necesitan vigas de borde y tirantes que contrarresten los empujes laterales. Prolongando los pilares y colocando los tirantes sobre la bóveda, se consigue abaratar la construcción, pues esto permite encofrados móviles y la producción en serie de estas bóvedas cortas. En las aduanas se cubren huecos de 20 m más los voladizos de 6 m cada uno, con losas de 4 cm de espesor, que se engrosan hasta 10 cm en los arranques de la bóveda (formando vigas planas que transmiten los esfuerzos a las columnas). En Alcoa, las luces son de 21 m y las longitudes de las bóvedas de 7,5 m y 2,5 m en las juntas de dilatación.

Se construyen pocas cúpulas, pues el encofrado de las superficies sinclásticas es engorroso y complicado, a menos que sean muy planas. En el Centro Gallego se construyó una cúpula elíptica colgada de un sistema periférico de vigas y en el Night Club La Jacaranda, de México D.F., un cuarto de esfera sin viga de borde.

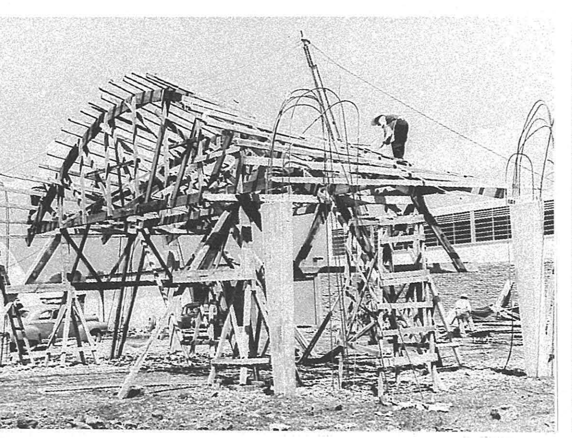


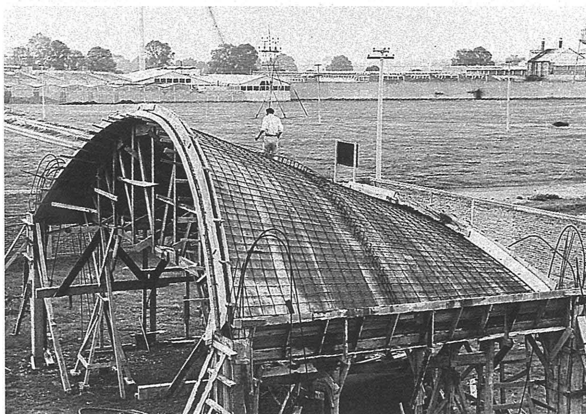
Escuela Experimental.
Ciudad Victoria (Tamaulipas),
México, 1950.

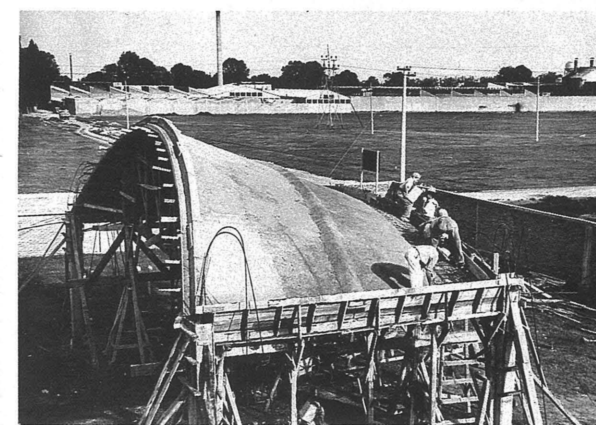














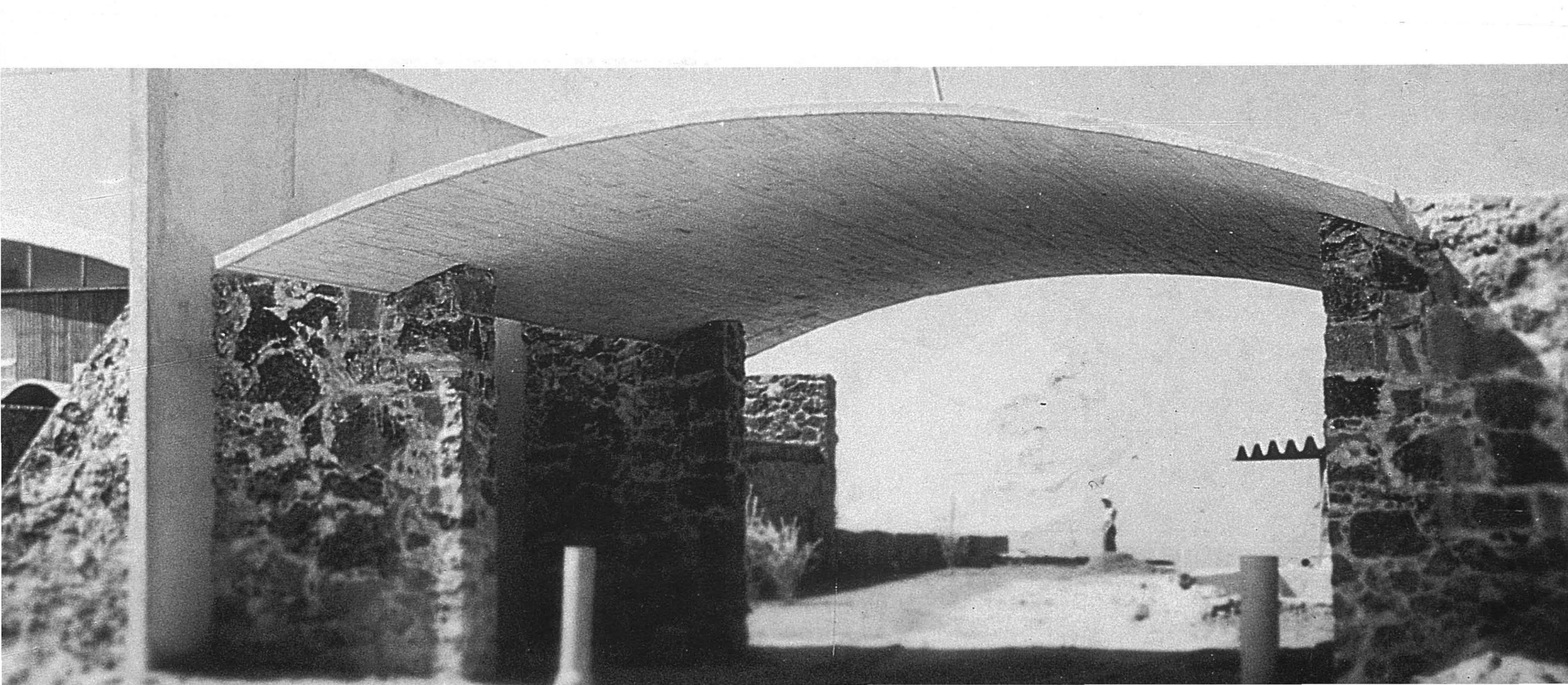
Conoide para la Fábrica Fernández. San Bartolo, México D.F., 1950.



Casa nº 4 para la revista *Novedades* (entrada). Jardines del Pedregal, México D.F., 1951.



Casa nº 2 para la revista *Novedades*. Jardines del Pedregal, México D.F., 1951.



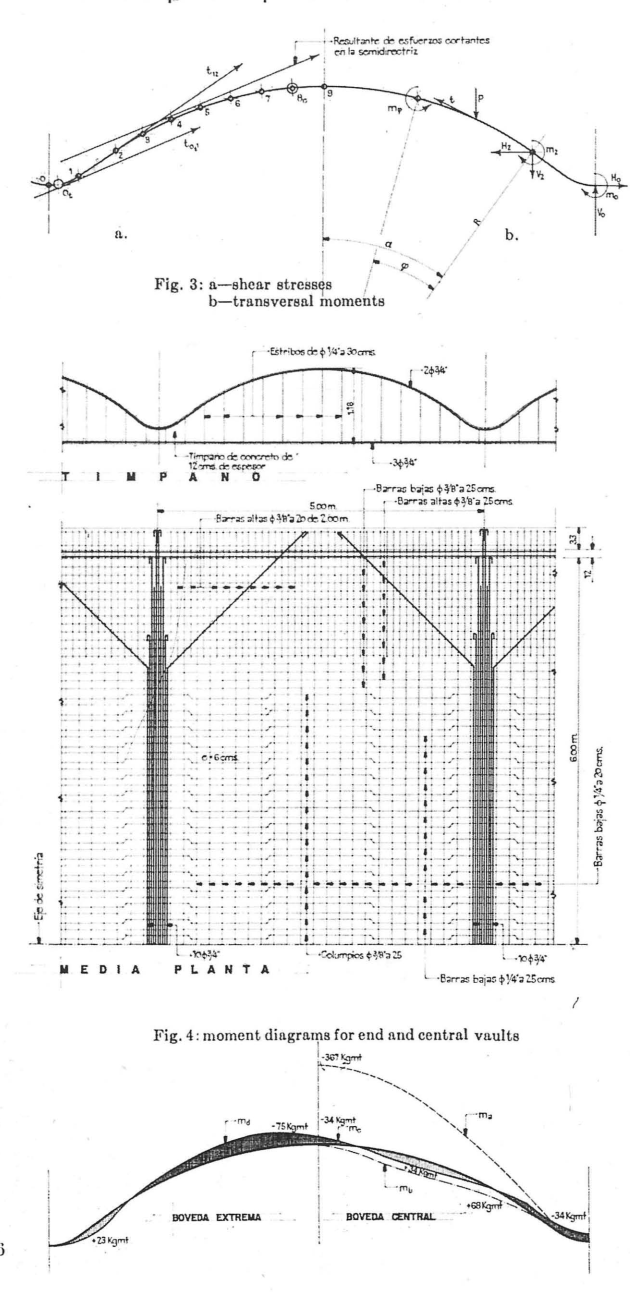


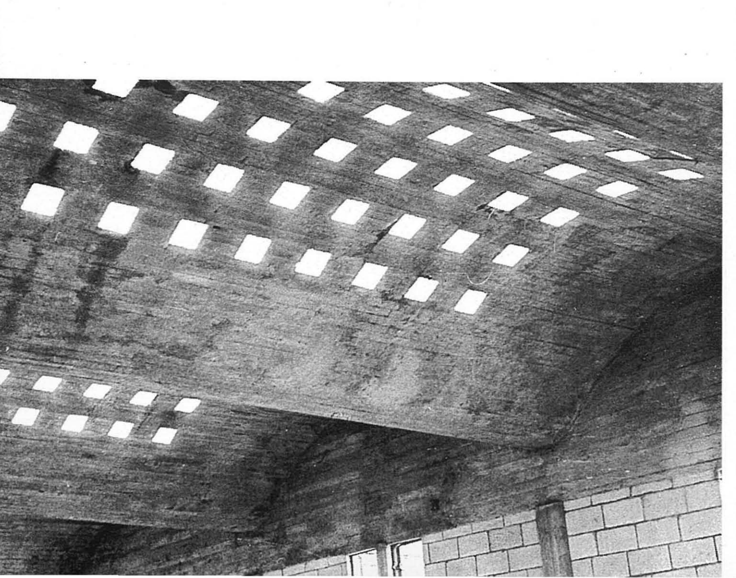
Fig. 3: a—shear stresses
b—transversal moments

Fig. 4: moment diagrams for end and central vaults

26

Almacenes Bacardí. Cuautitlán (México).

40



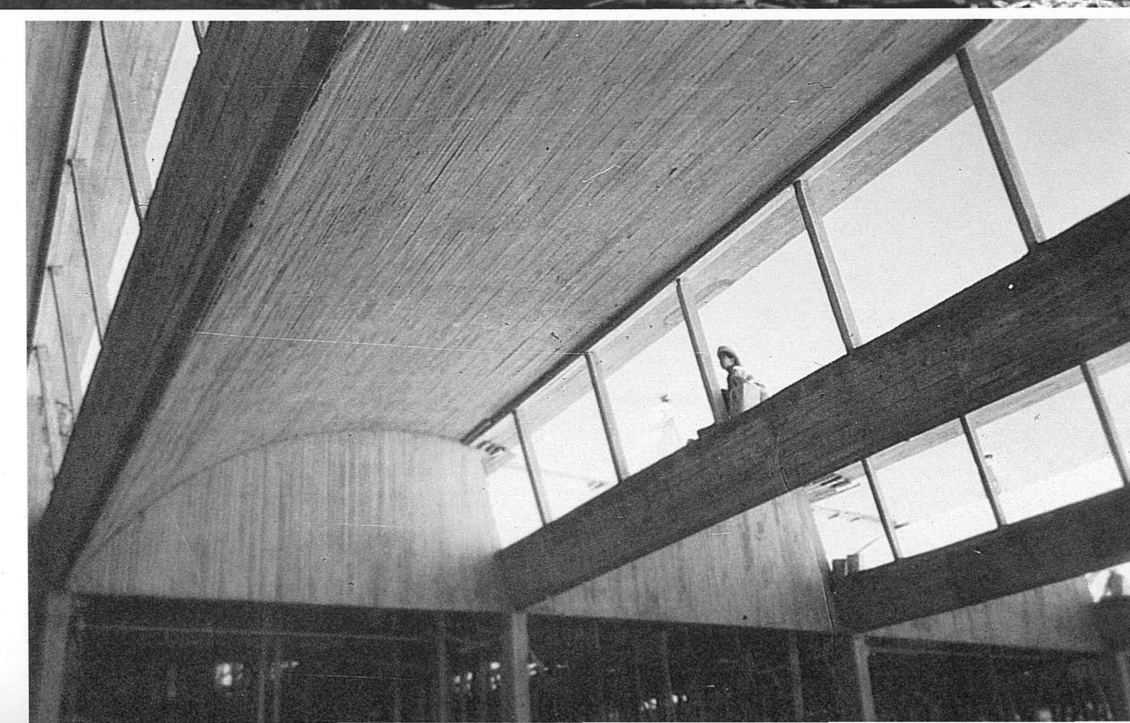


I

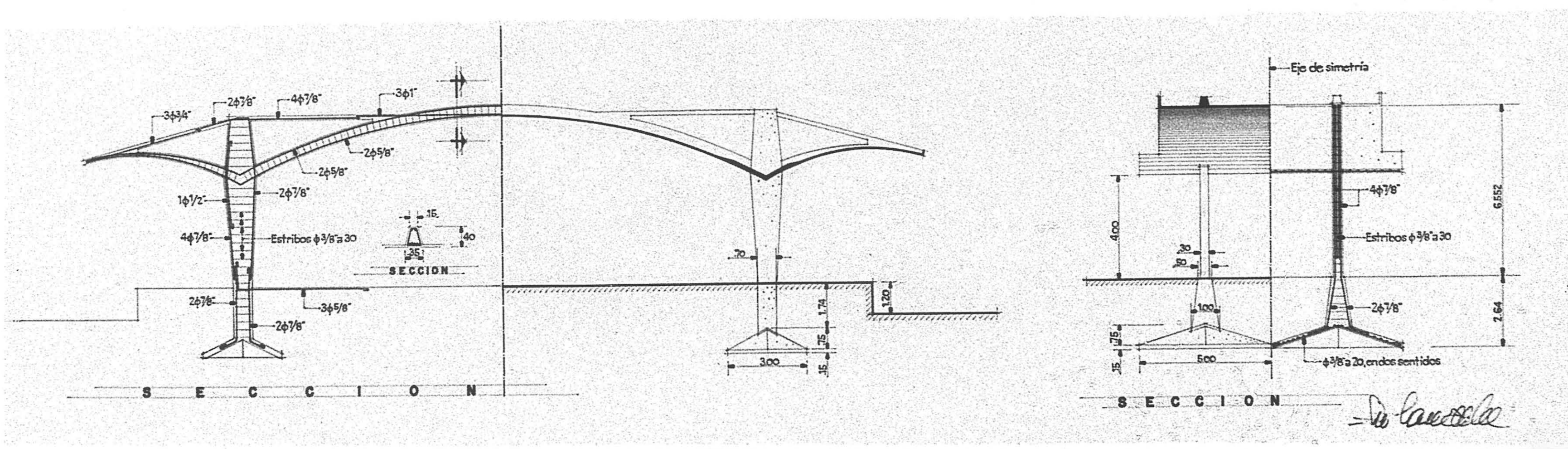
BÓVEDAS CILÍNDRICAS LARGAS EN DIENTE DE SIERRA

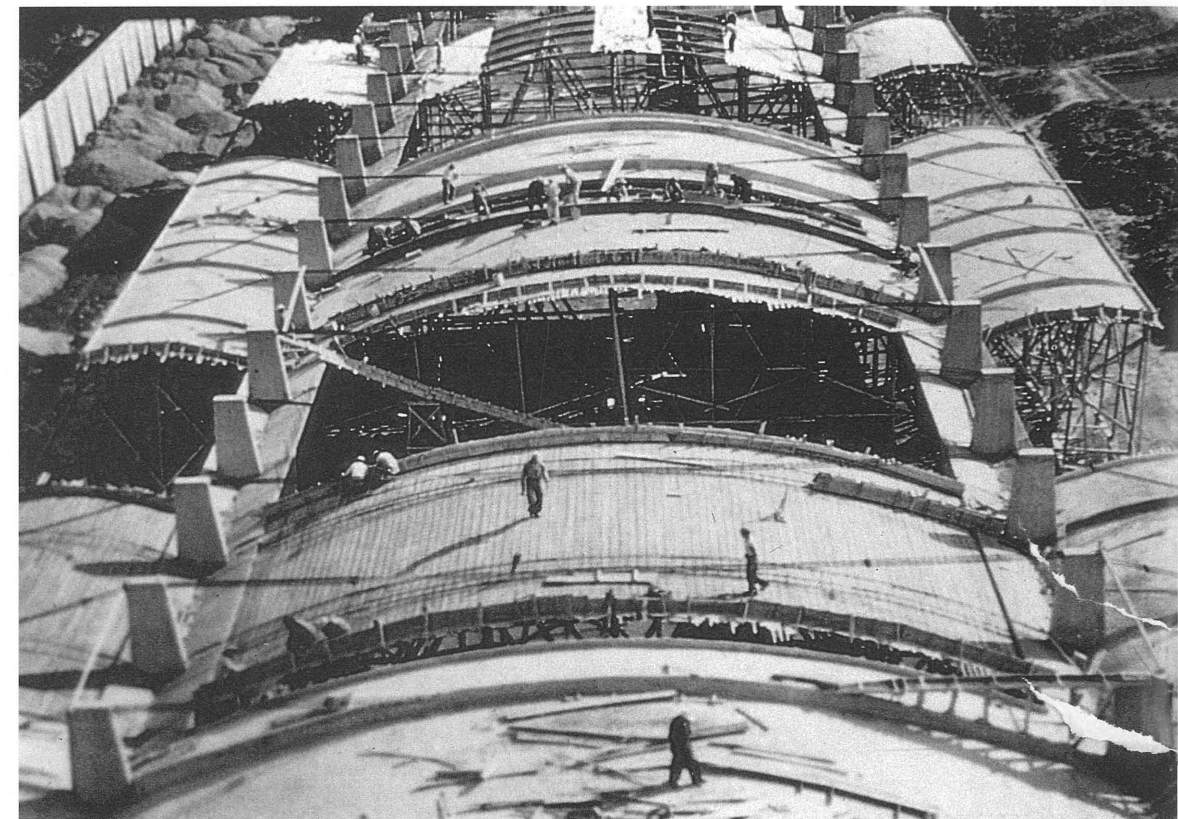
Laboratorios farmacéuticos Ciba.
Calzada de Tlalpam,
México D.F., 1953.

Barras bajas de ϕ3/8" a 25 cms.
Barras altas de ϕ3/8" a 25 cms.
1.30
3ϕ3/4" de 12.00
ϕ3/8" a 30 cms.
8 cms.
5 cms.
12
170
28
16
90
8ϕ3/4" de 12.00 m.
10ϕ1"
R = 5 metros
6.00 m.



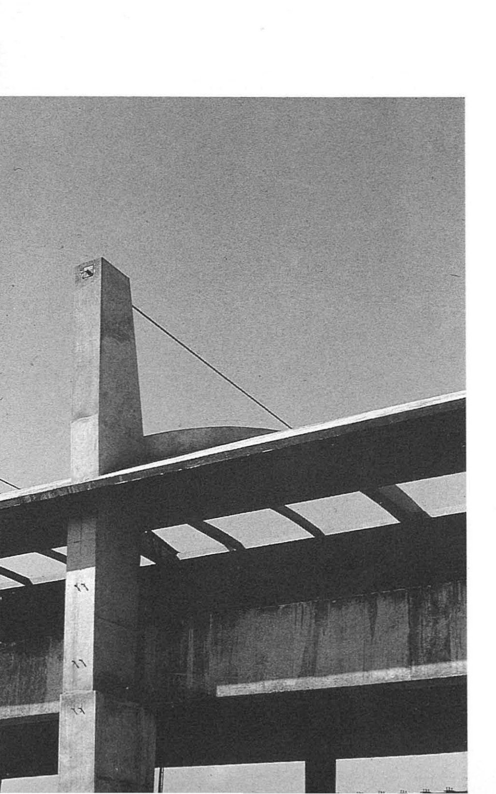
Almacenes para la Aduana de México. Colonia Vallejo, México D.F., 1953.



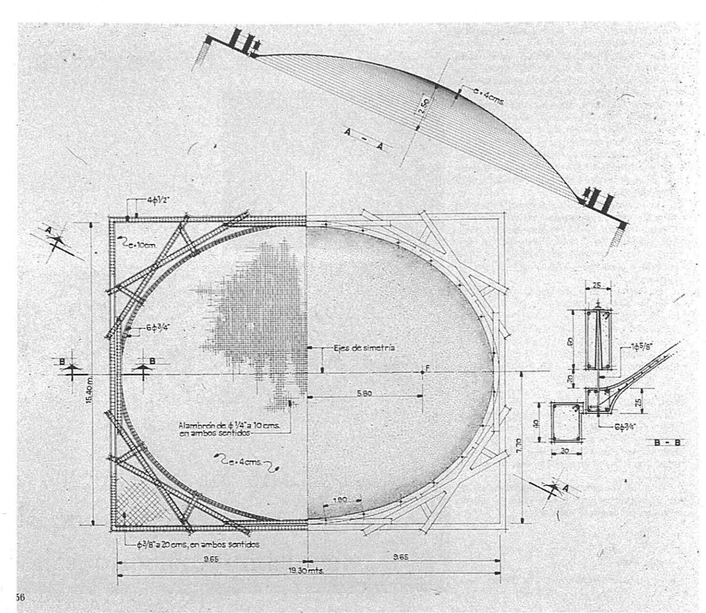




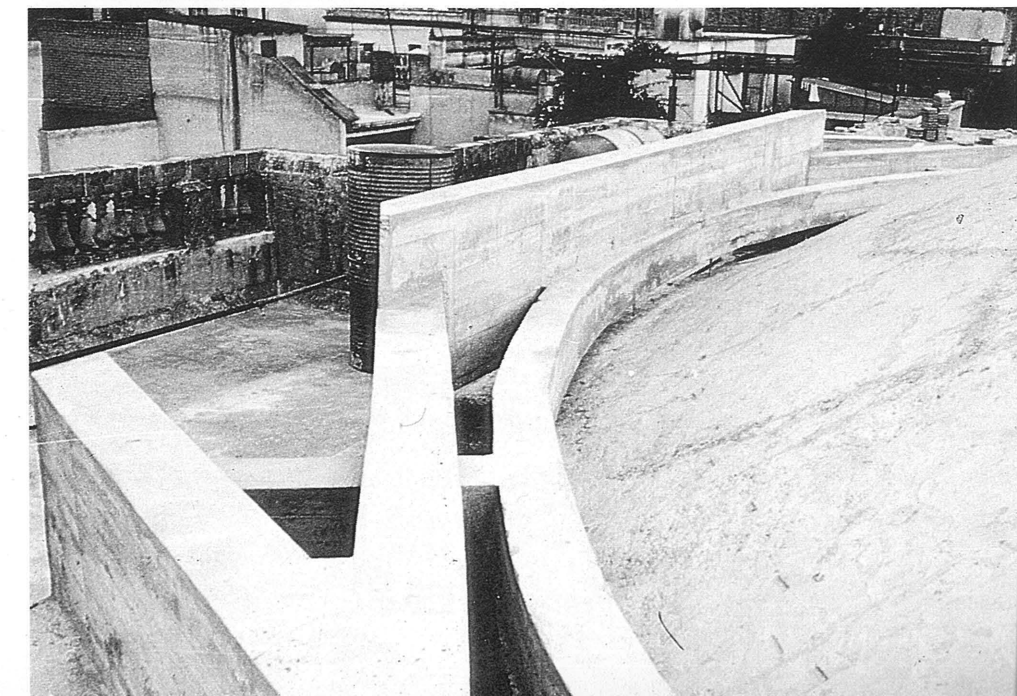
Planta fundidora Alcoa. Veracruz (Veracruz), México, 1961.



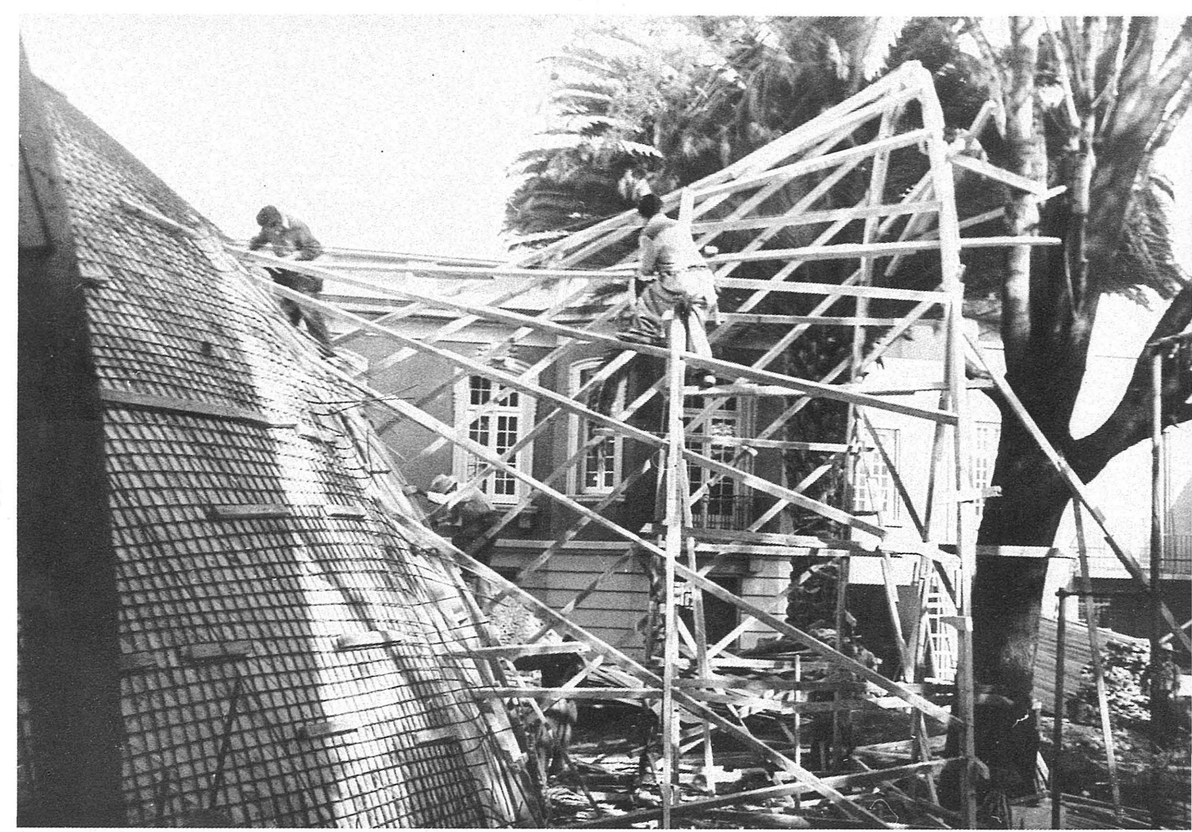
Cubierta para el Centro Gallego.
Colonia Roma, México D.F. 1953.

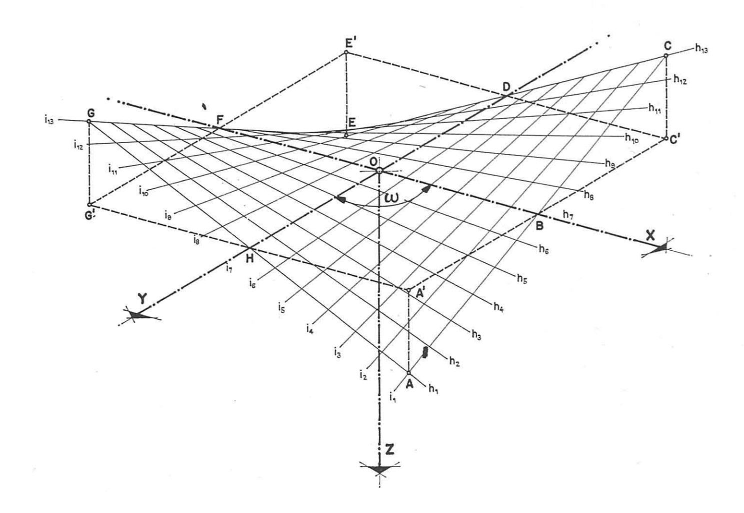






Night Club La Jacaranda. Zona Rosa, México D.F., 1954.

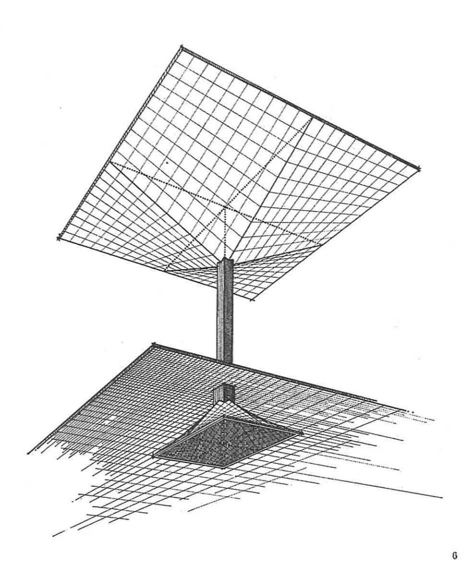




El paraboloide hiperbólico contiene dos sistemas de generatrices rectas. Cada sistema es paralelo a un plano director y ambos planos, cuya intersección define la dirección del eje Z, forman un ángulo arbitrario W. La superficie es de doble curvatura anticlástica, es decir, las dos curvaturas principales tienen su concavidad en direcciones opuestas, en oposición a las superficies sinclásticas o cupuliformes, en que las curvaturas principales van en la misma dirección. El ángulo W puede tener cualquier valor. Cuando es recto, el paraboloide se llama equilátero y los dos sistemas de parábolas principales tienen la misma curvatura. Cuando W no es recto, las parábolas contenidas en los cuadrantes agudos son más planas que las contenidas en cuadrantes obtusos. Las secciones planas paralelas al eje Z son parábolas o su degeneración en líneas rectas. Todas las demás secciones planas son hipérbolas o su degeneración en dos rectas que definen los planos tangentes (osculadores) a la superficie.

Tomando como ejes de coordenadas las dos generatrices que pasan por el centro del hypar y el eje Z, perpendicular a ellas (en lugar de los ejes reales del hypar, que son las bisectrices del ángulo W), la ecuación de la superficie, $z = Kxy$, es la ecuación de segundo grado más simple posible, lo que facilita en grado sumo el cálculo de tensiones o esfuerzos de membrana. El hecho de tratarse de una superficie doblemente reglada facilita la construcción del encofrado, que requiere únicamente piezas rectas y consigue, sin embargo, una forma no desarrollable o de doble curvatura.

II PARAGUAS Y TECHOS A CUATRO AGUAS FORMADOS POR TROZOS DE HYPAR



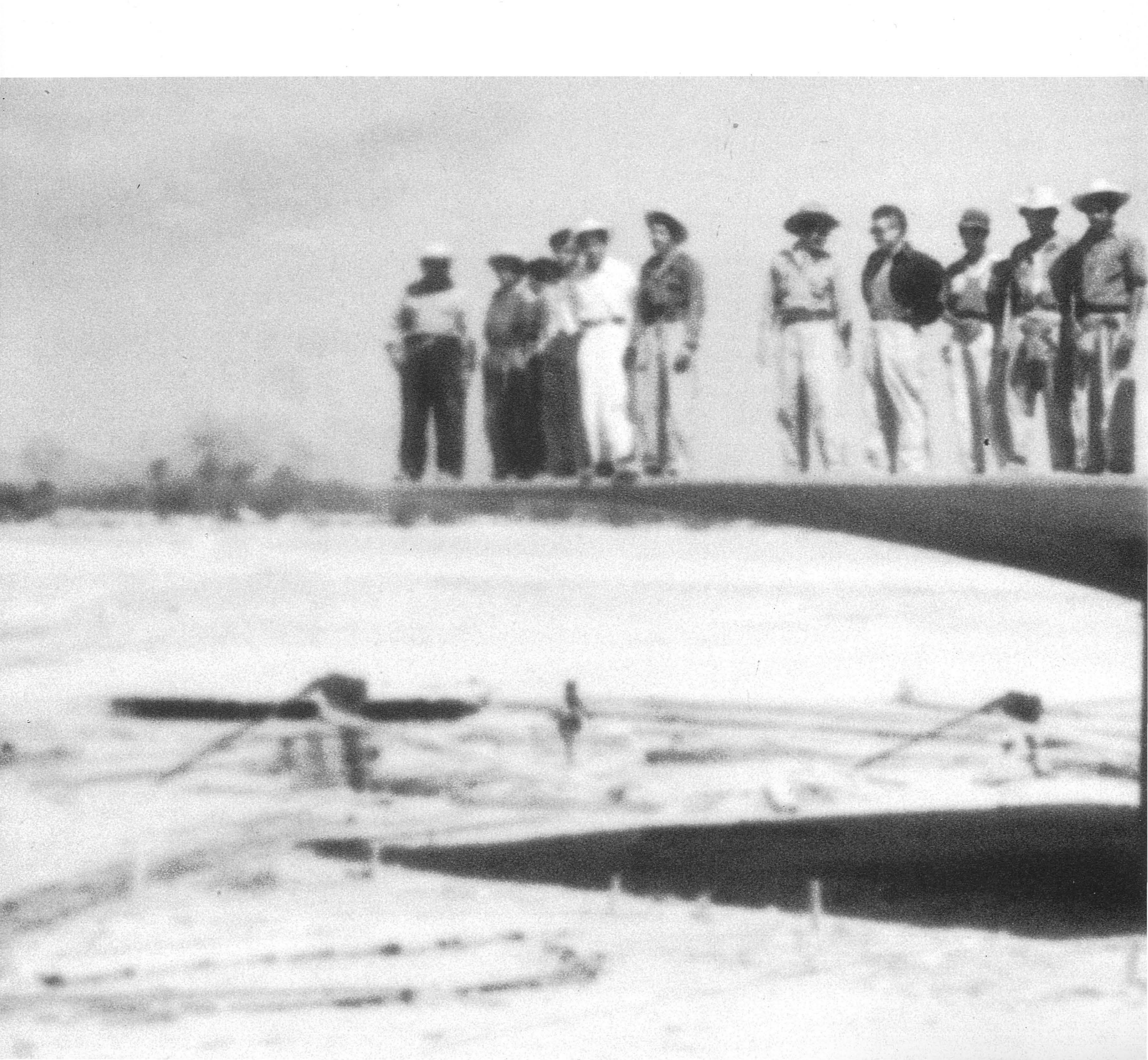
6

Combinando cuatro segmentos de hypar como se describe en la figura, se consigue este elemento (el paraguas), que admite innumerables combinaciones. Gracias a su simplicidad demostró ser uno de los medios más económicos para cubrir el espacio, y permitió competir en precio con los sistemas más baratos de techos industriales. El encofrado de cada paraguas se divide en cuatro partes fácilmente movibles, incluso con medios mecánicos primitivos, lo que permite la construcción en serie de cubiertas formadas por repetición de estos elementos. Mediante diversas combinaciones de los paraguas (inclinándolos en diente de sierra, en dos niveles, prolongándolos hacia el centro y formando otro invertido entre ellos, prolongándolos hacia los extremos, etc.) se construyeron miles de paraguas en edificios industriales.

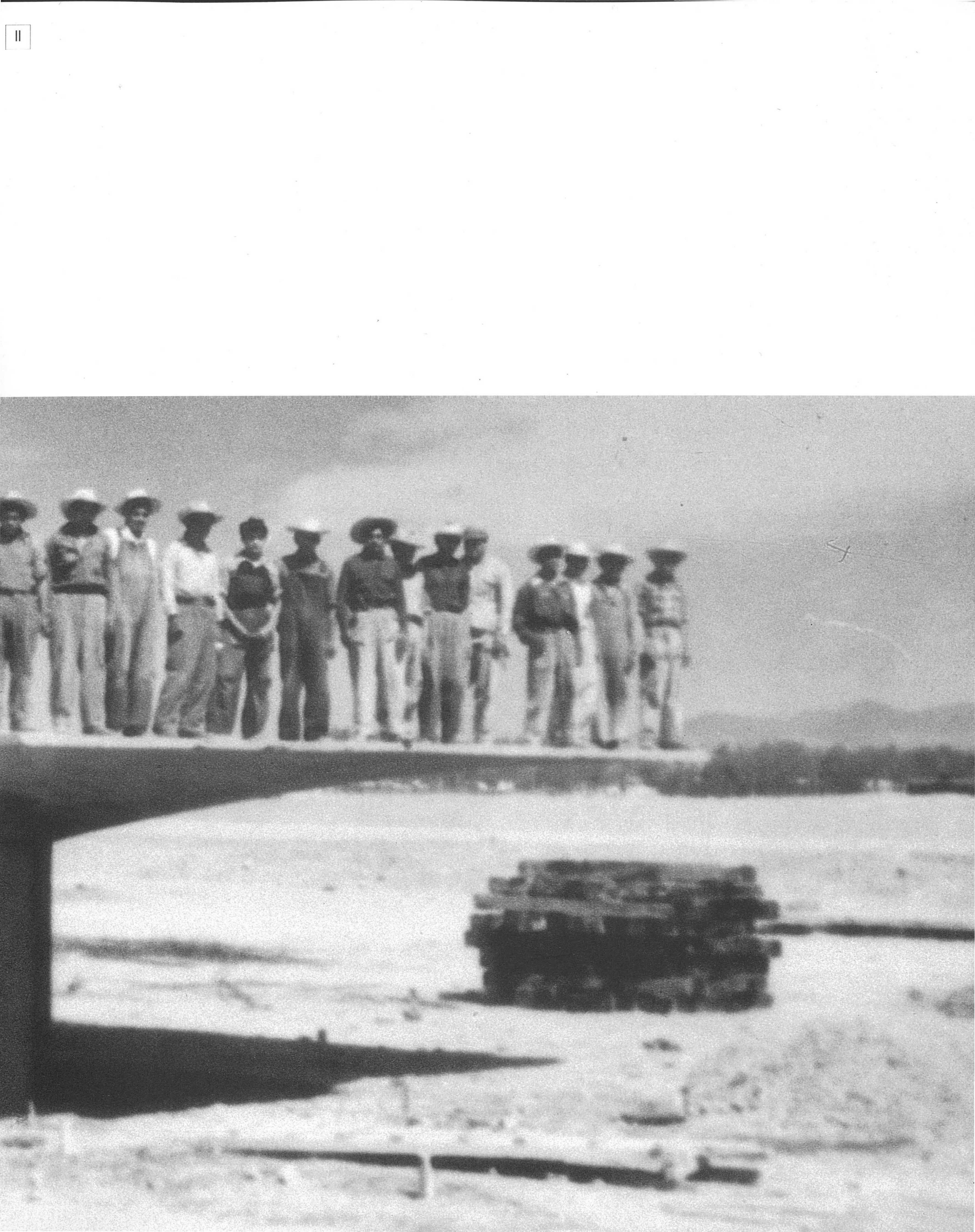
Otra combinación de cuatro segmentos de hypar, haciendo horizontales las aristas de unión entre ellos y apoyándose en las esquinas, produce los techos a cuatro aguas formados por hypars. Los apoyos han de ir atirantados perimetralmente. Al construirse muchas unidades, éstas se separan dejando entradas de luz que acaban configurándose como "pasillos de iluminación" colgados de las vigas de borde.

También se utilizaron los paraguas invertidos, que, como zapatas de cimentación, proporcionaron una solución muy económica al frecuente problema de los cimientos en suelos de baja capacidad de carga. Como cubiertas para viviendas económicas de una planta, también resultaron ser un sistema muy ventajoso de construcción, pues se podían hormigonar repetitivamente con encofrados reutilizables. Al ir apoyadas estas cubiertas exclusivamente en una columna central, se podían construir antes que los muros y divisiones interiores, lo que supuso una gran eficacia en el sistema constructivo.

Paraguas experimental. Colonia Vallejo, México D.F.,1953.

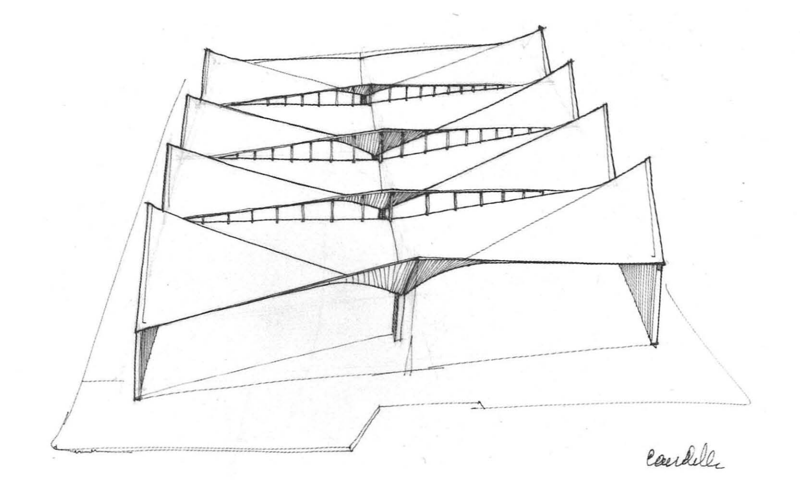


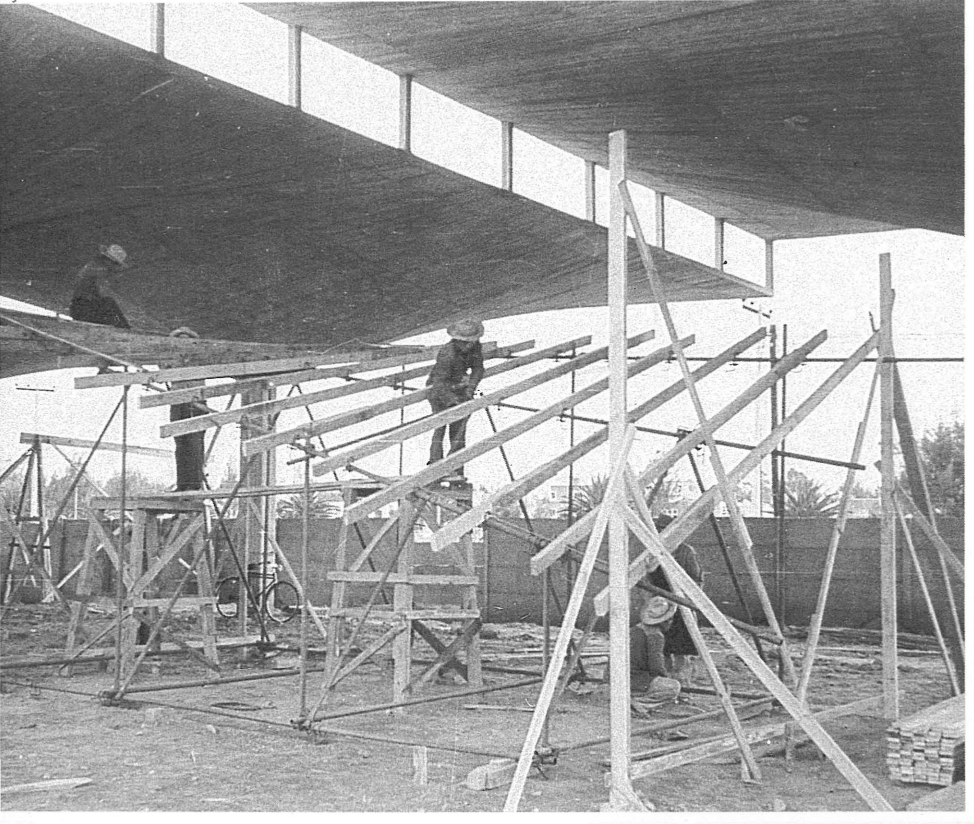
II



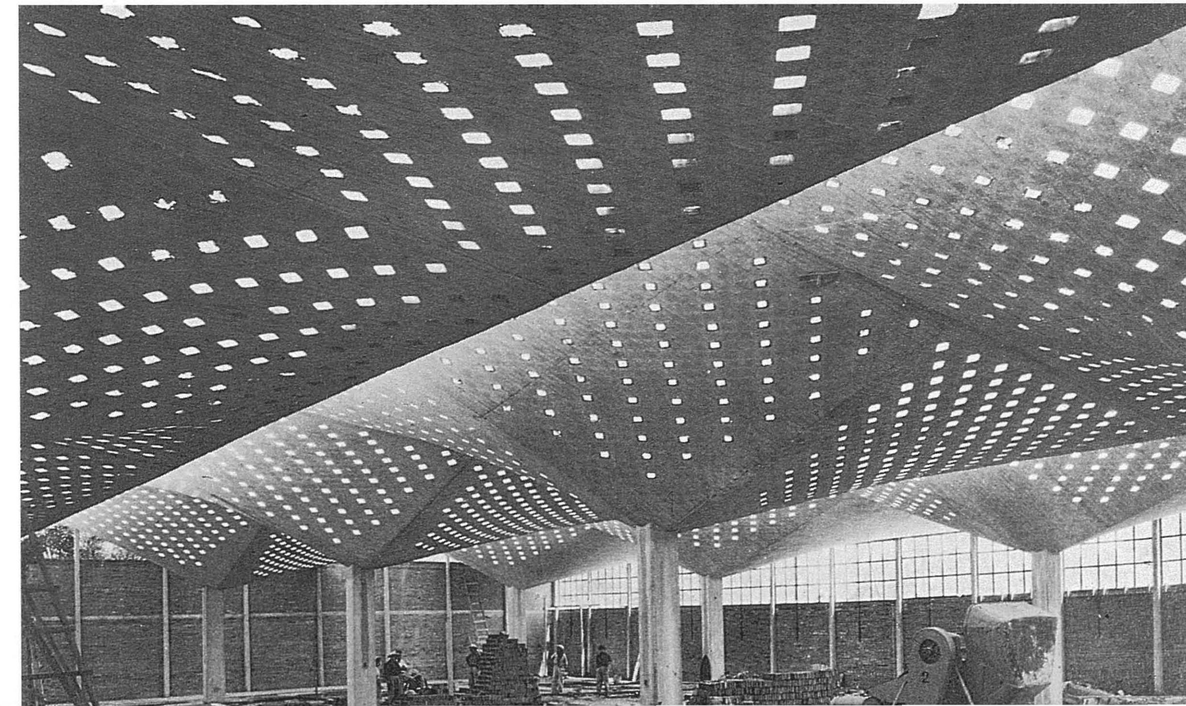
Bodegas Río. Lindavista, México D.F., 1954.

Fábrica High Life. Coyoacán, México D.F., 1954-55.



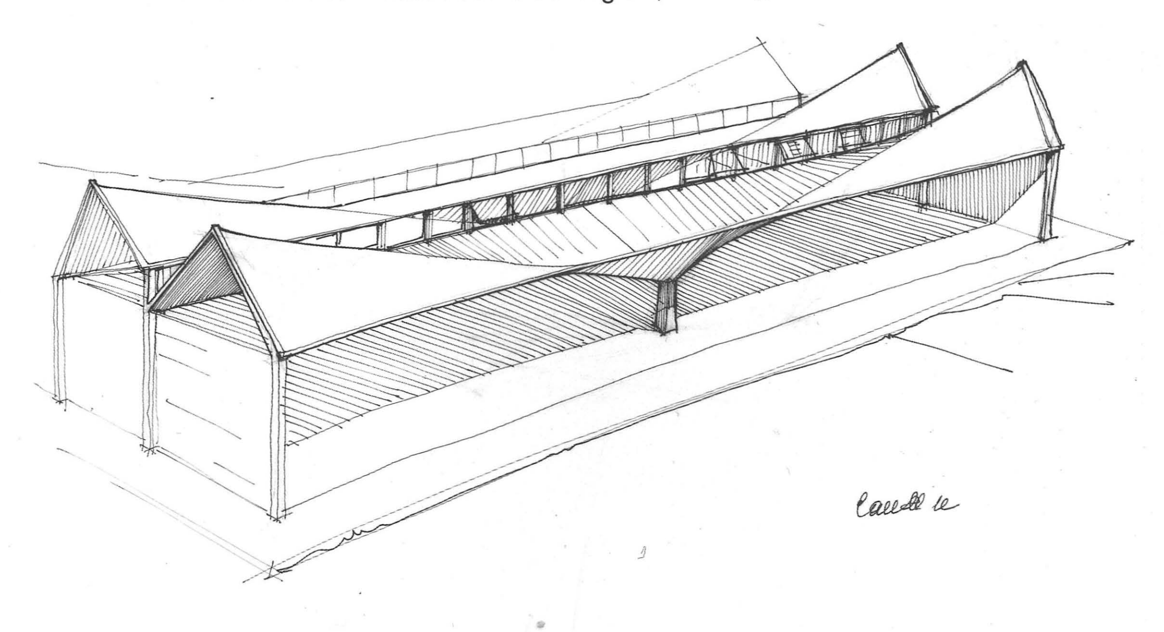


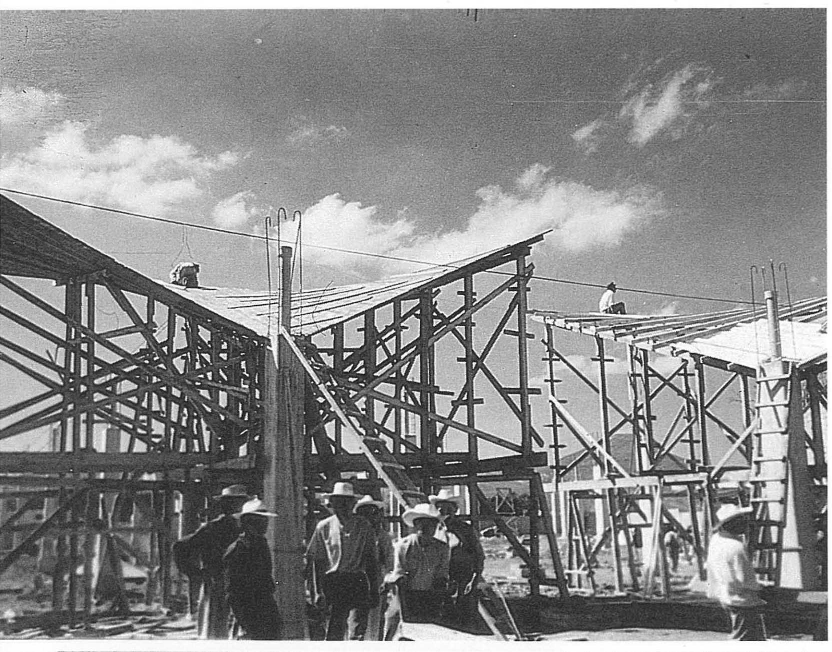


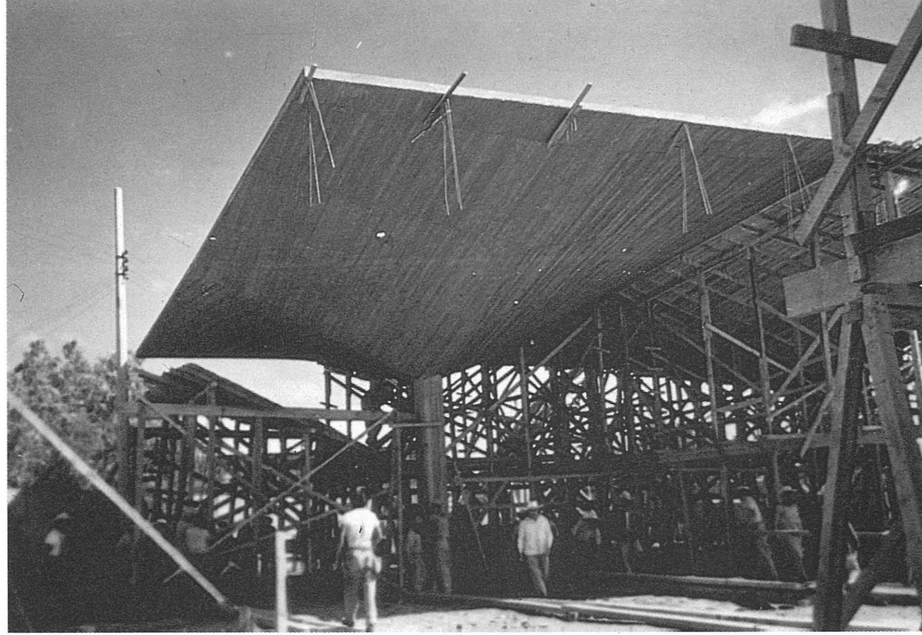


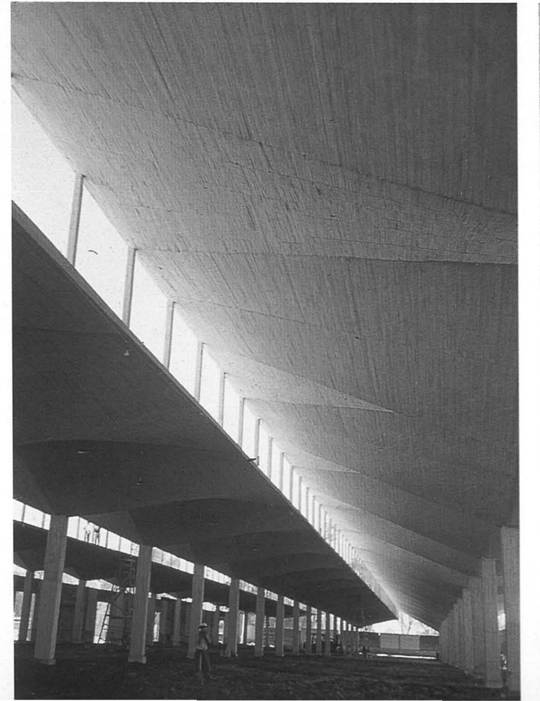
Edificio para Olivetti de México. Colonia Vallejo, México D.F., 1954.

Fábrica de Acabados Finos. Puente de Vigas (México), 1954-55.



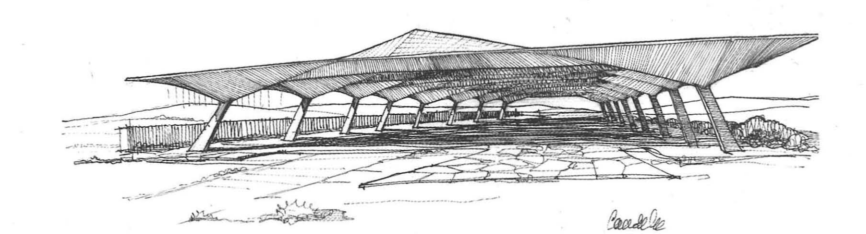


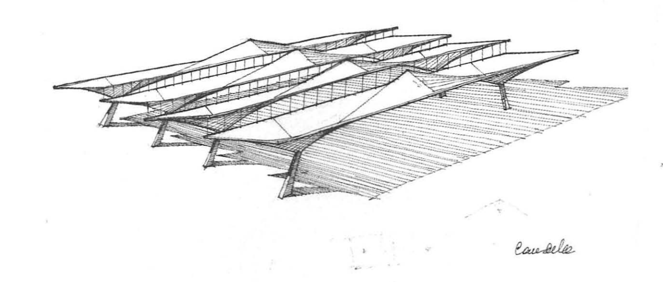


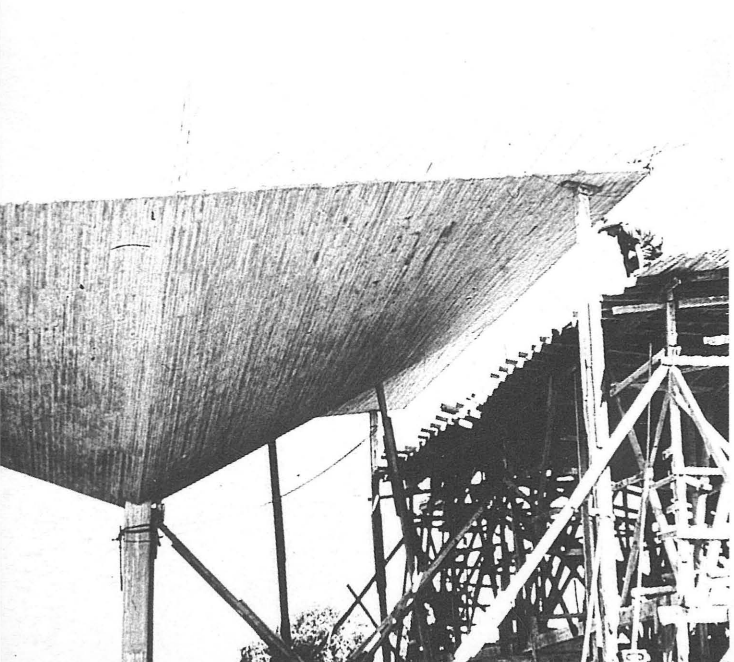




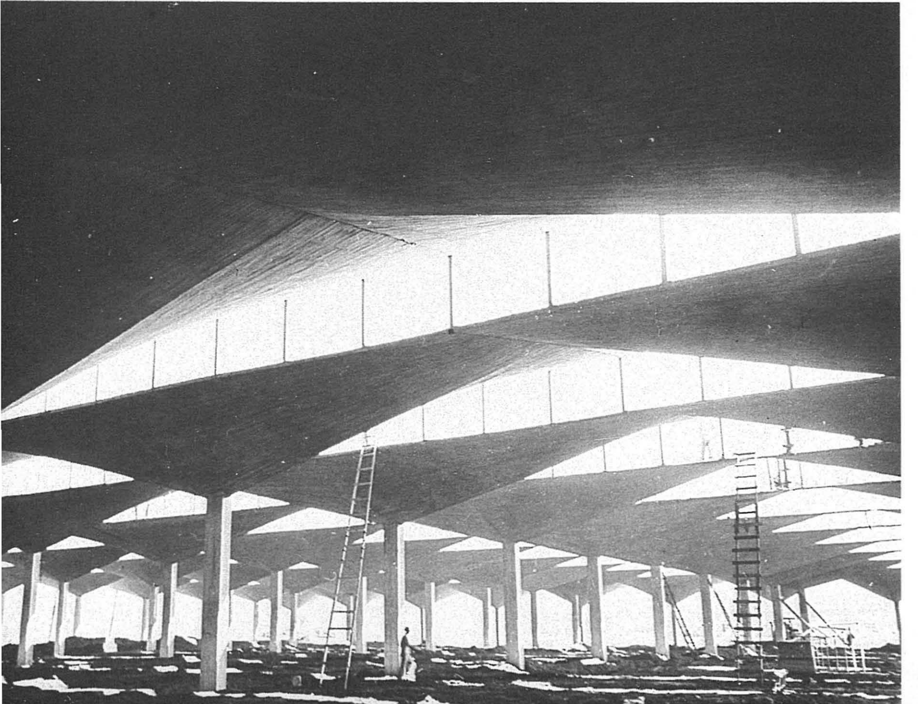
Vidriera Nacional.

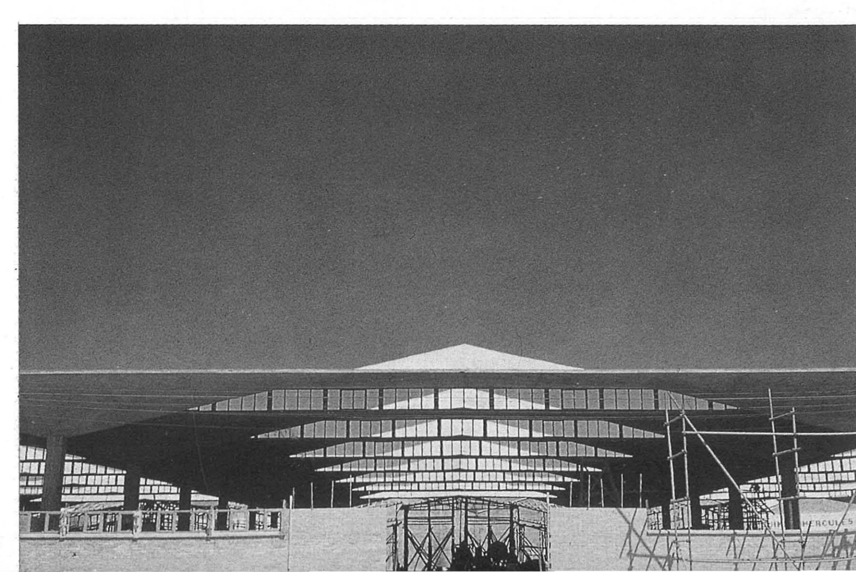








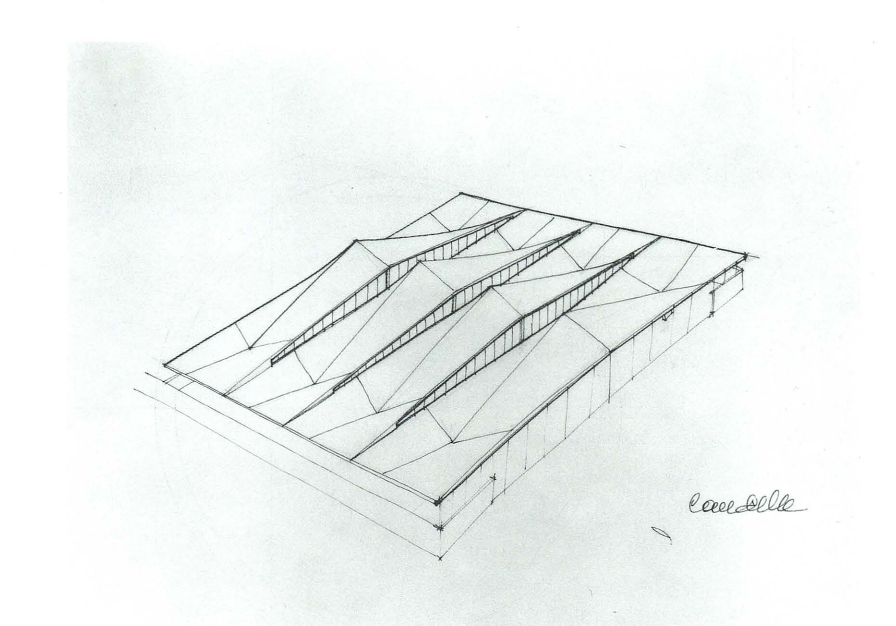




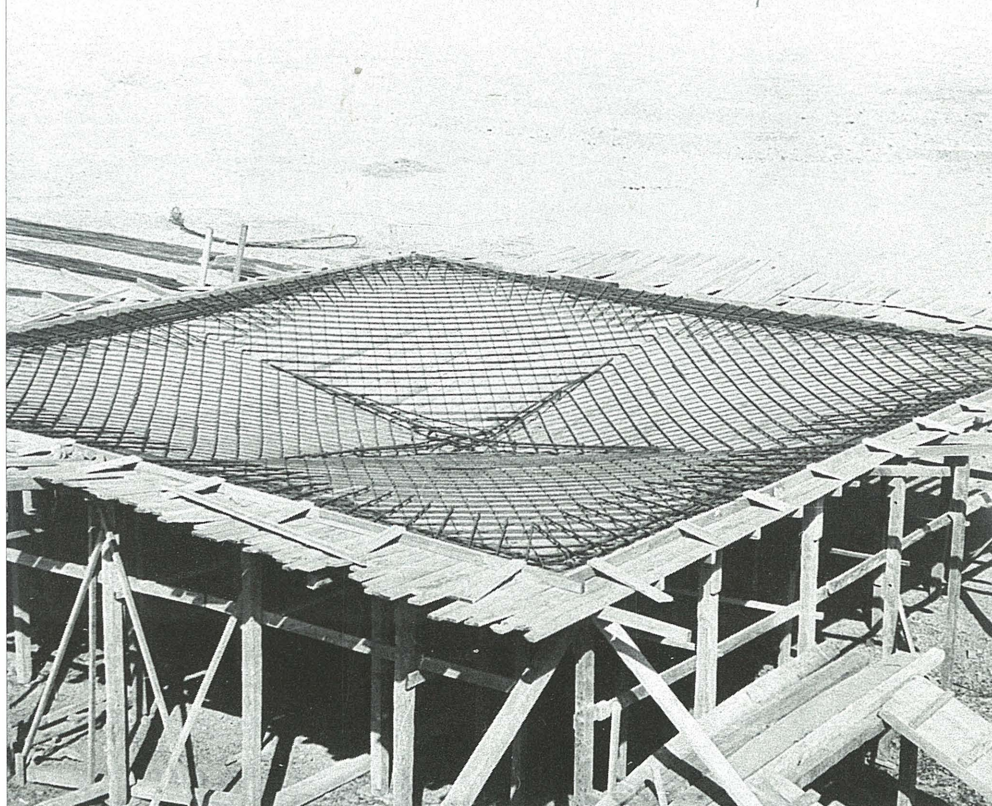
Fábrica Celestino Fernández. Colonia Vallejo, México D.F. 1955.



Almacenes Hernáiz, México, 1956.



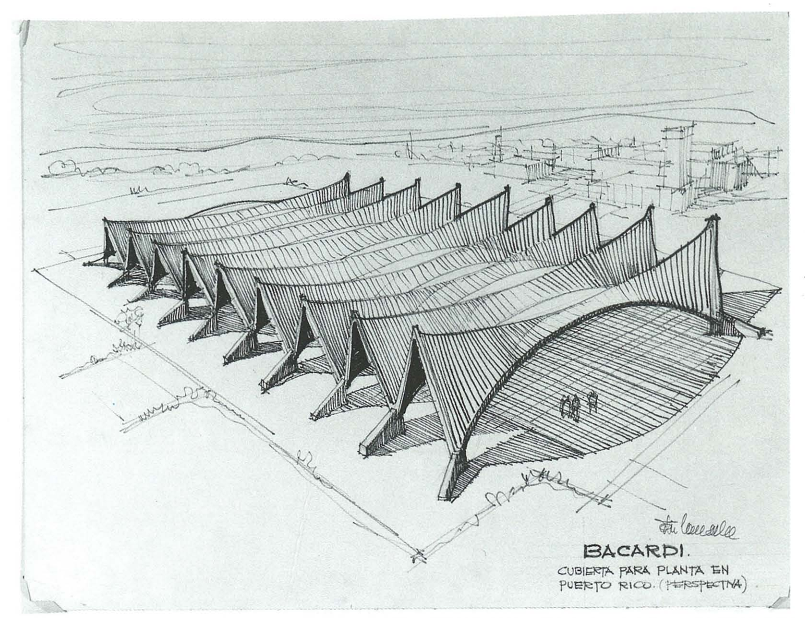




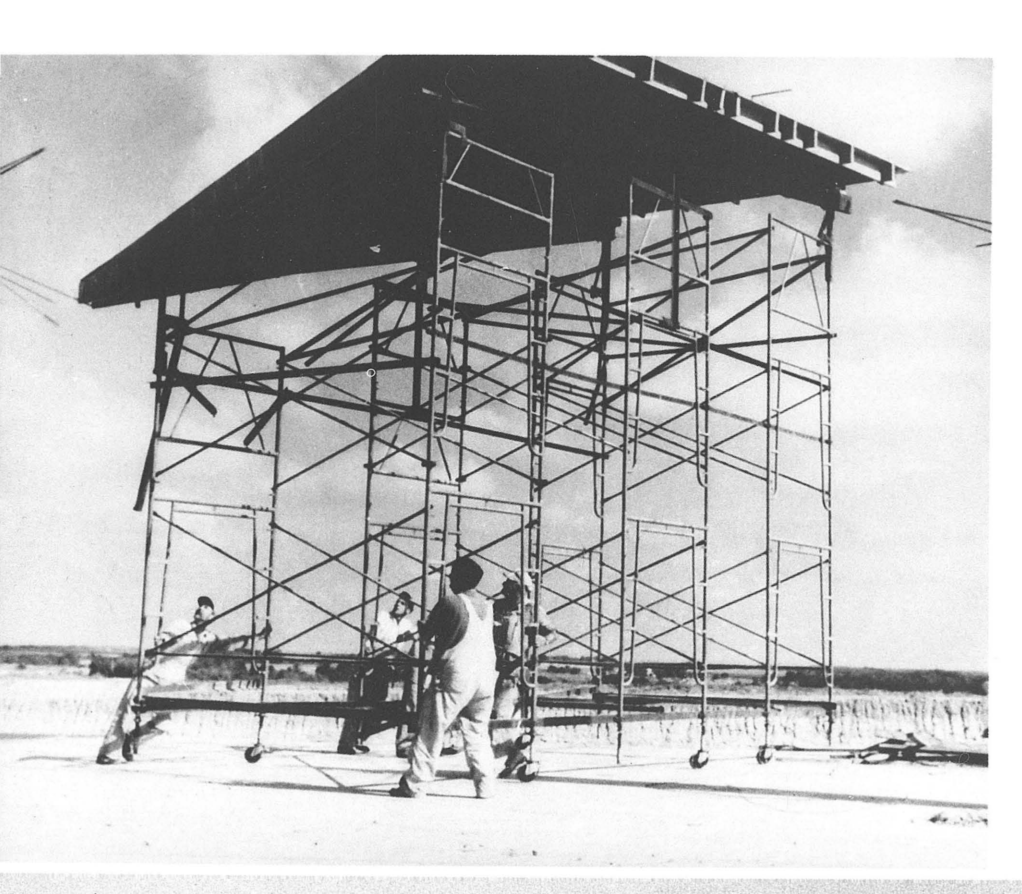


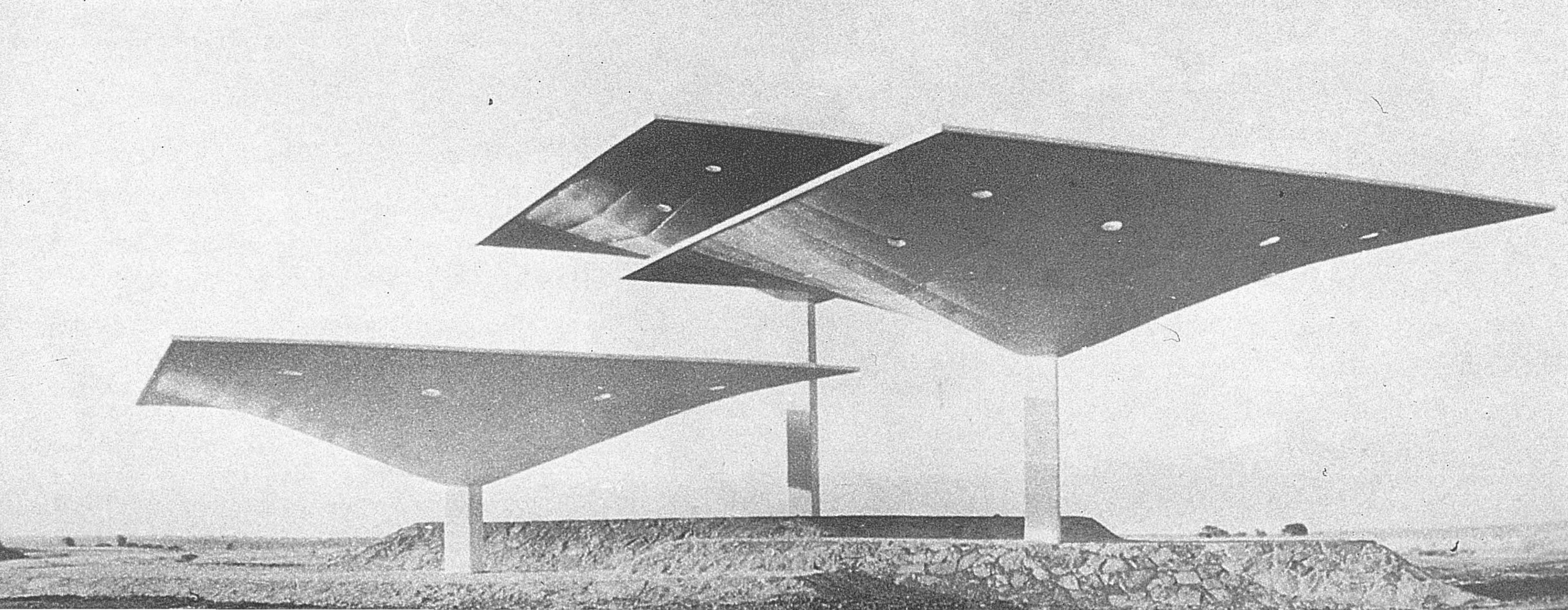


Mercado público. Veracruz (Veracruz), México, 1961.



Insignia del parque industrial Great Southwest. Dallas (Texas), EE.UU., 1958.

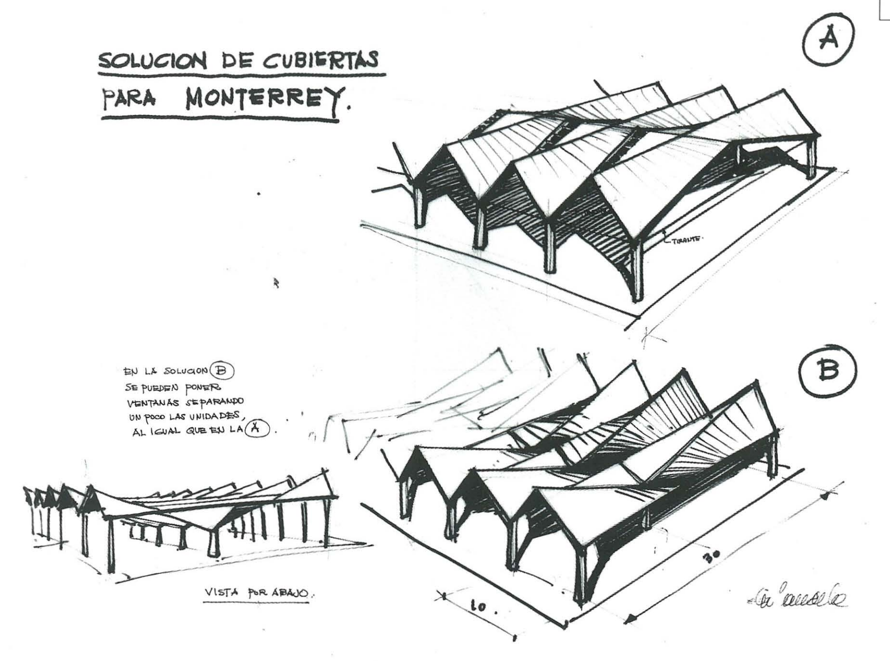


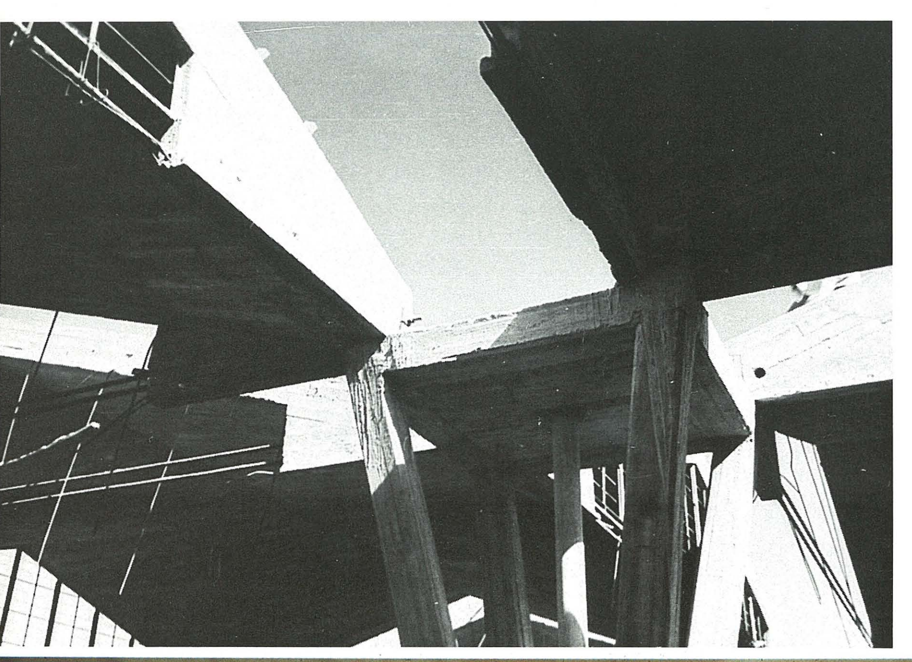


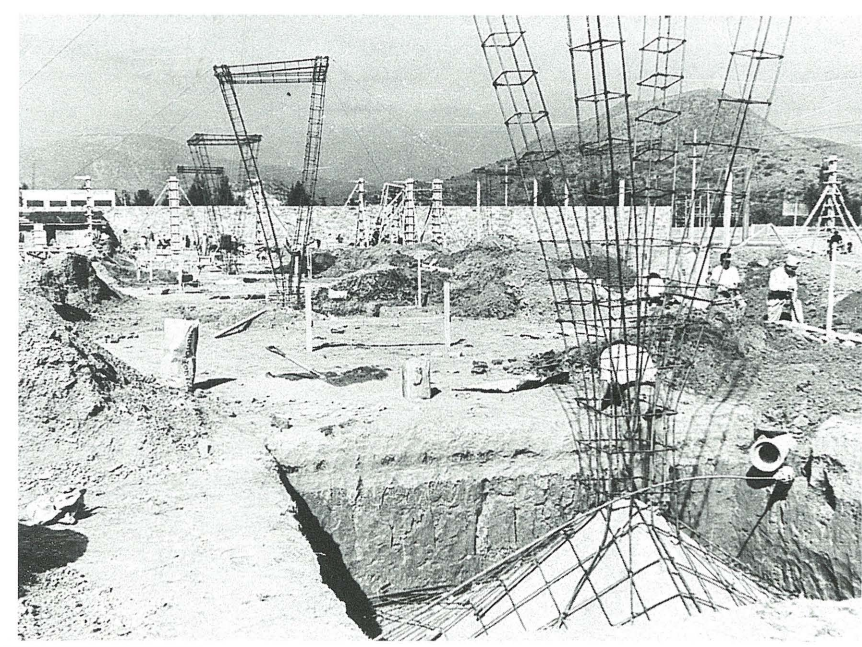
II



Fábrica de muebles Frey. Xalostoc (México), 1955.



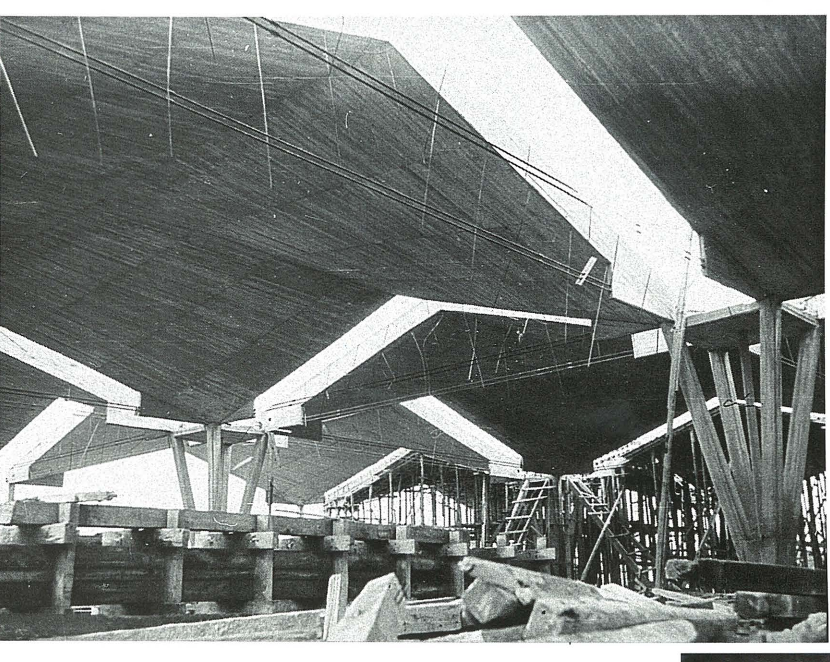


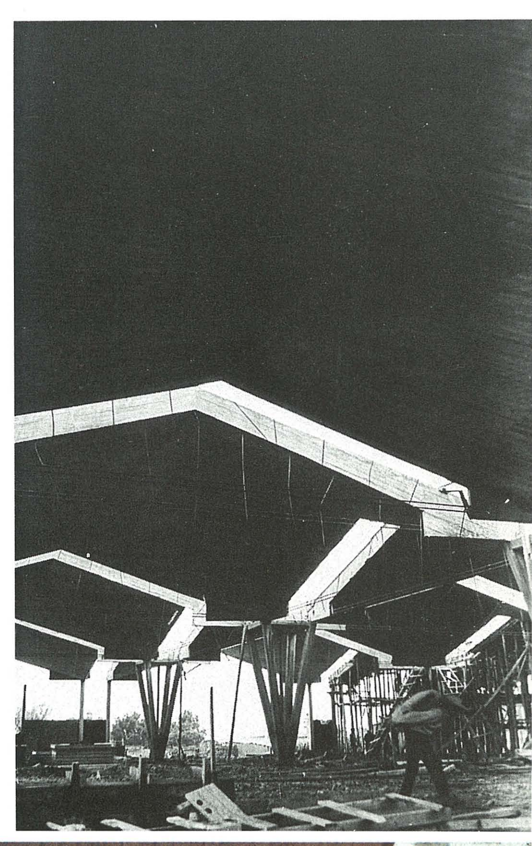




Almacén Herdez. San Bartolo, México D.F., 1955-56.

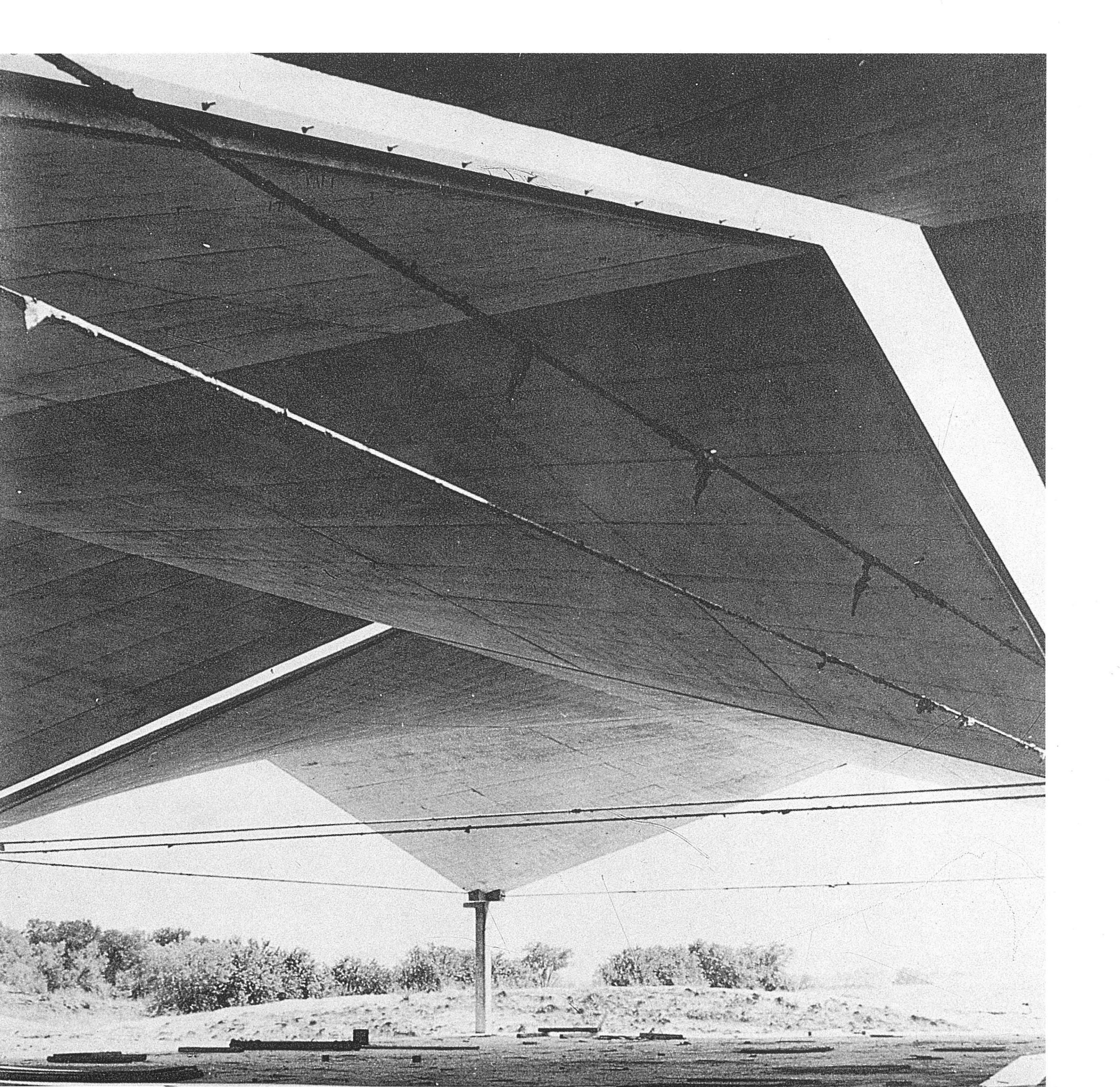
Laboratorios farmacéuticos Lederle. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1957







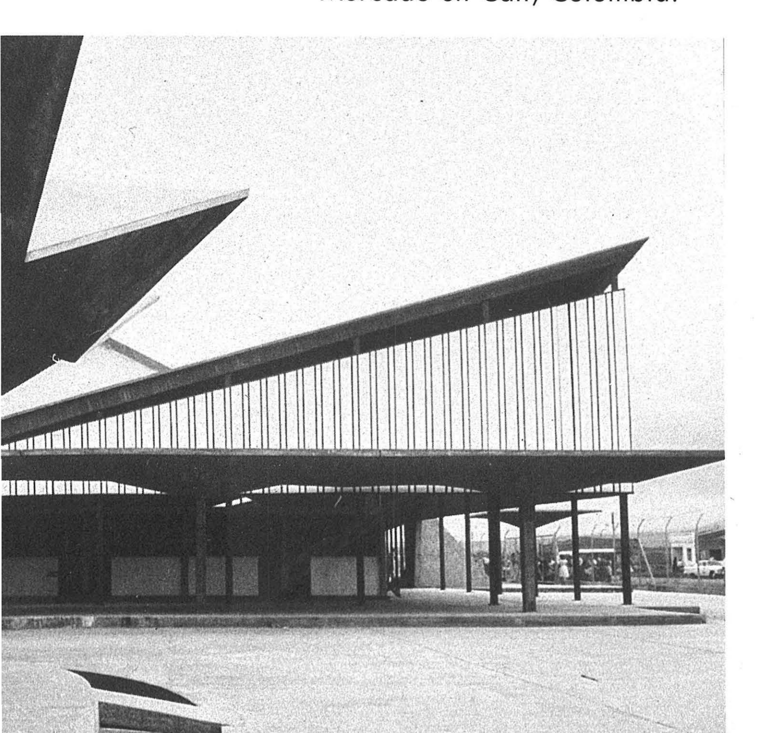
Texas Instruments. Dallas (Texas), EE.UU., 1957.



II

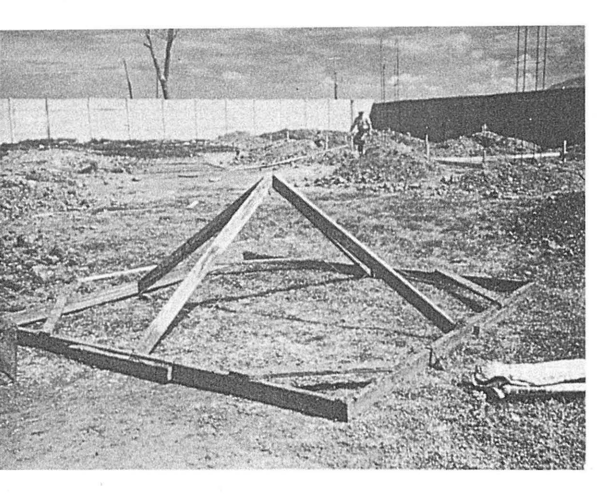
Estación de metro Zaragoza. México D.F., 1967.

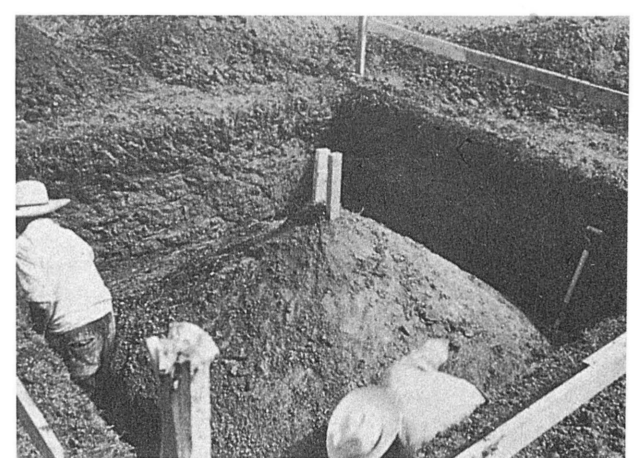
Mercado en Cali, Colombia.

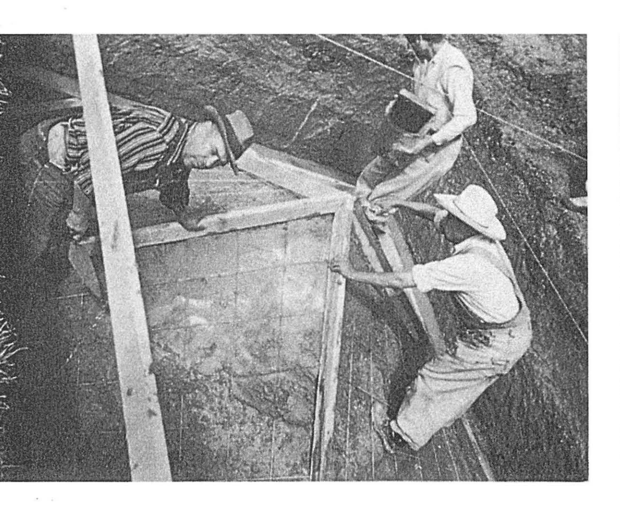


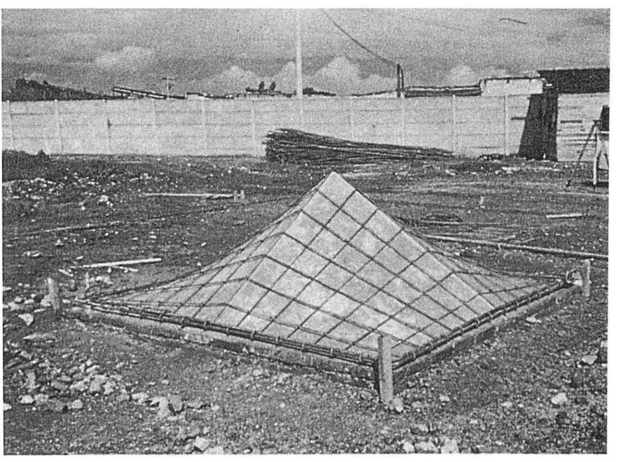


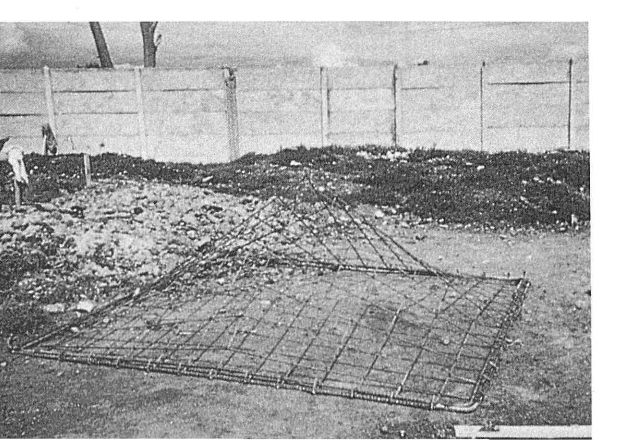
Zapatas para las aduanas de México. Colonia Vallejo, México D.F., 1953.

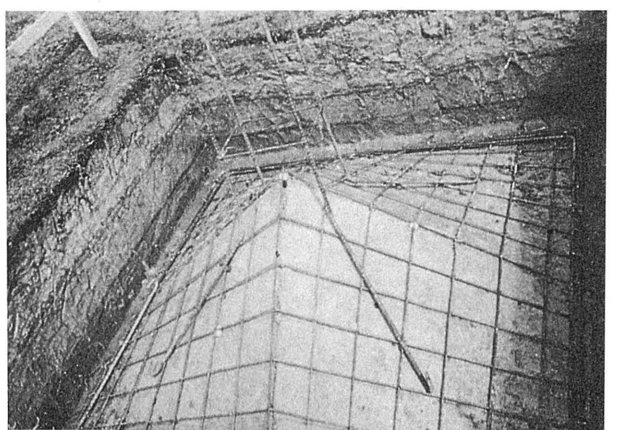




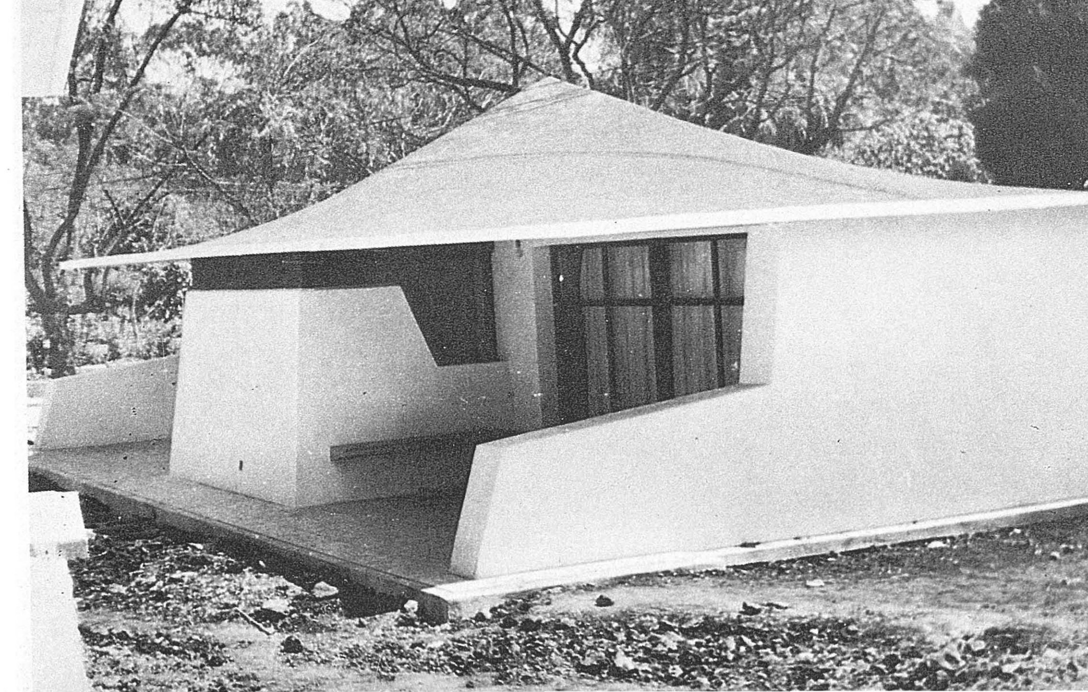








Bungalows en el Hotel Casino de la Selva. Cuernavaca (Morelos), México, 1958.



III VARIACIONES A LOS PARAGUAS Y ABANICOS

Exagerando la altura o flecha de los paraguas, disimetrizándolos y llevando a cabo otras simples manipulaciones de los hypars, se consiguieron espectaculares estructuras de formas alabeadas, todas ellas paraboloides hiperbólicos. Así surgió la primera iglesia construida por Cubiertas Ala: la iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa, que tanto impacto causó en su momento, como aún lo hace en nuestros días.

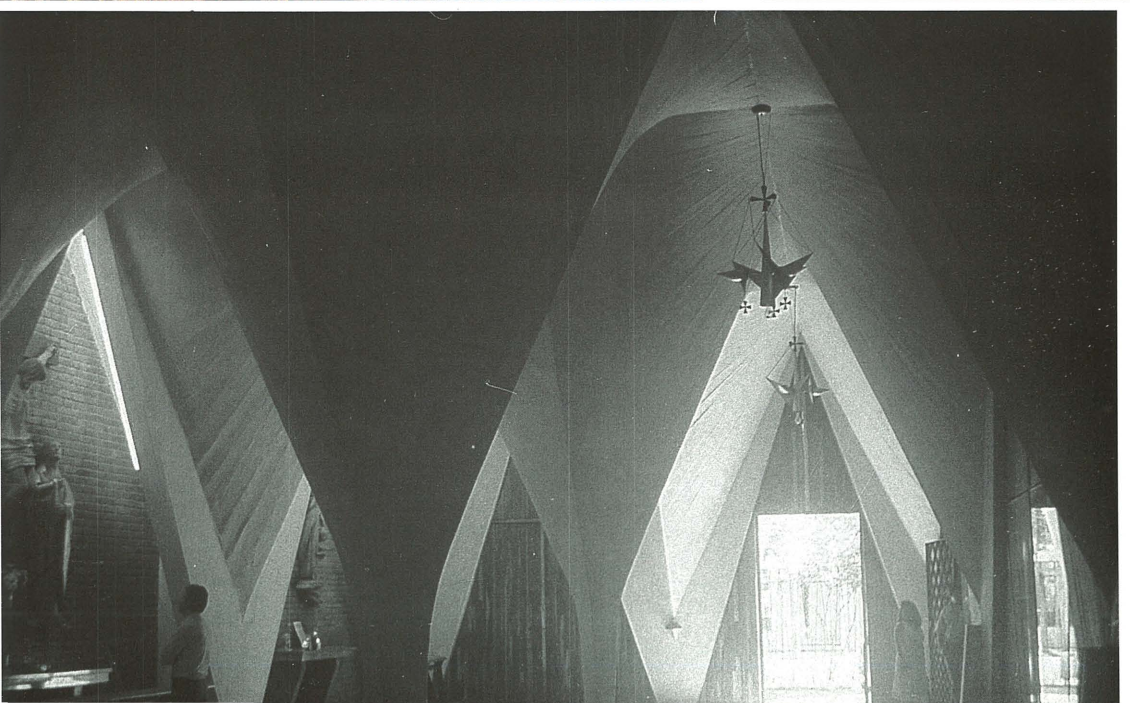
Se construyeron voladizos para entradas de diversos edificios, así como para quioscos de música y motivos ornamentales. En su evolución formal van desde un paraguas asimétrico (equilibrado gracias a la combinación de distintos espesores y densidades de morteros) a la exagerada forma de dos paraboloides hiperbólicos retorcidos 90 grados, en planta triangular, con la base horizontal y el extremo totalmente vertical. Uniendo varios de estos últimos se consiguen las estructuras llamadas por el autor "en abanico", que se utilizaron tanto en construcciones ornamentales como en espectaculares cubiertas (estación de Metro Candelaria).
Asimismo, se investigó y construyó todo tipo de variaciones a los paraguas (triangulares, pentagonales, hexagonales, etc.), que tanto se usaron, bien como elementos de cubierta para edificación industrial, bien para gasolineras, paradas de autobús, etcétera.



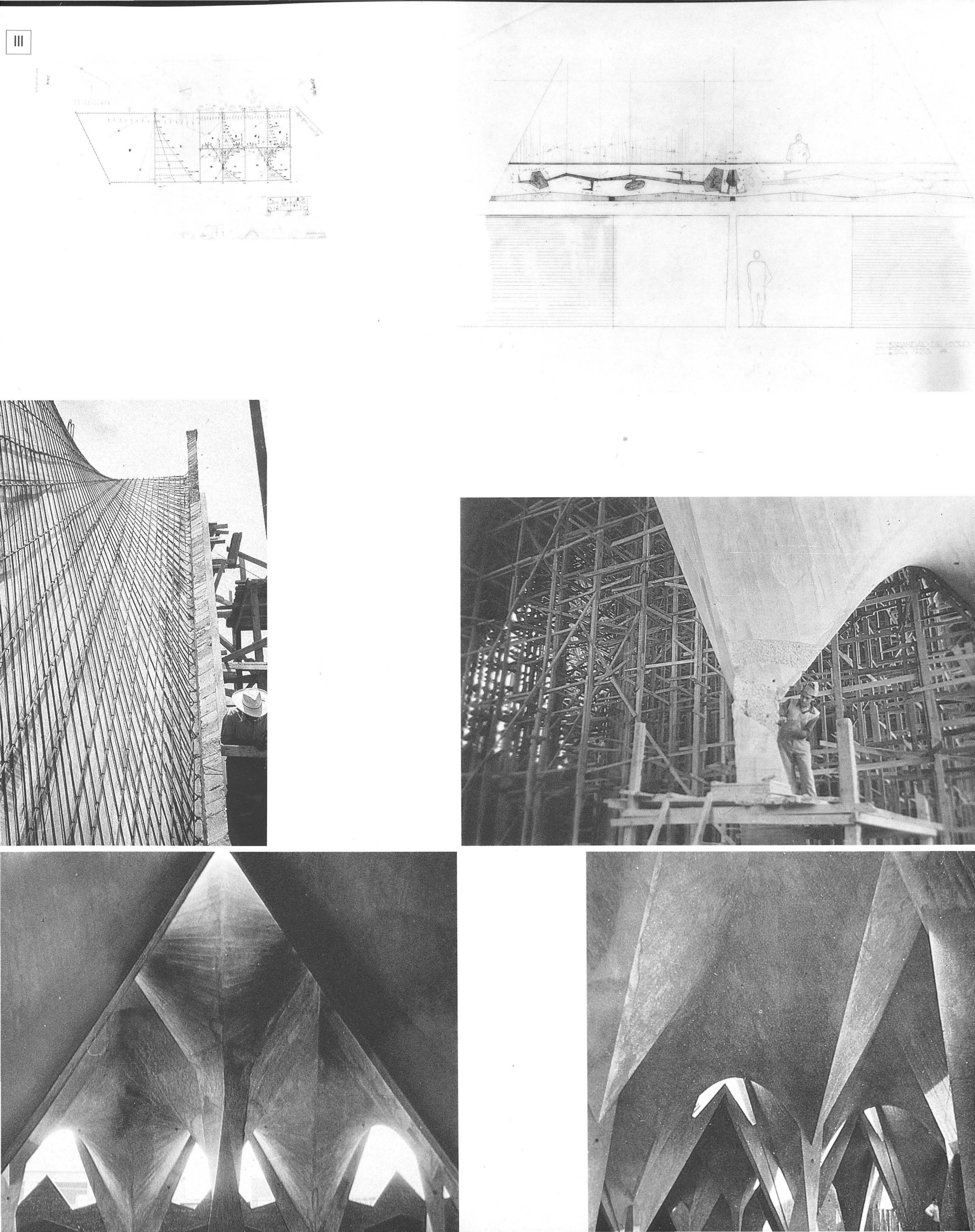
Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa.
Navarte, México D.F., 1953.



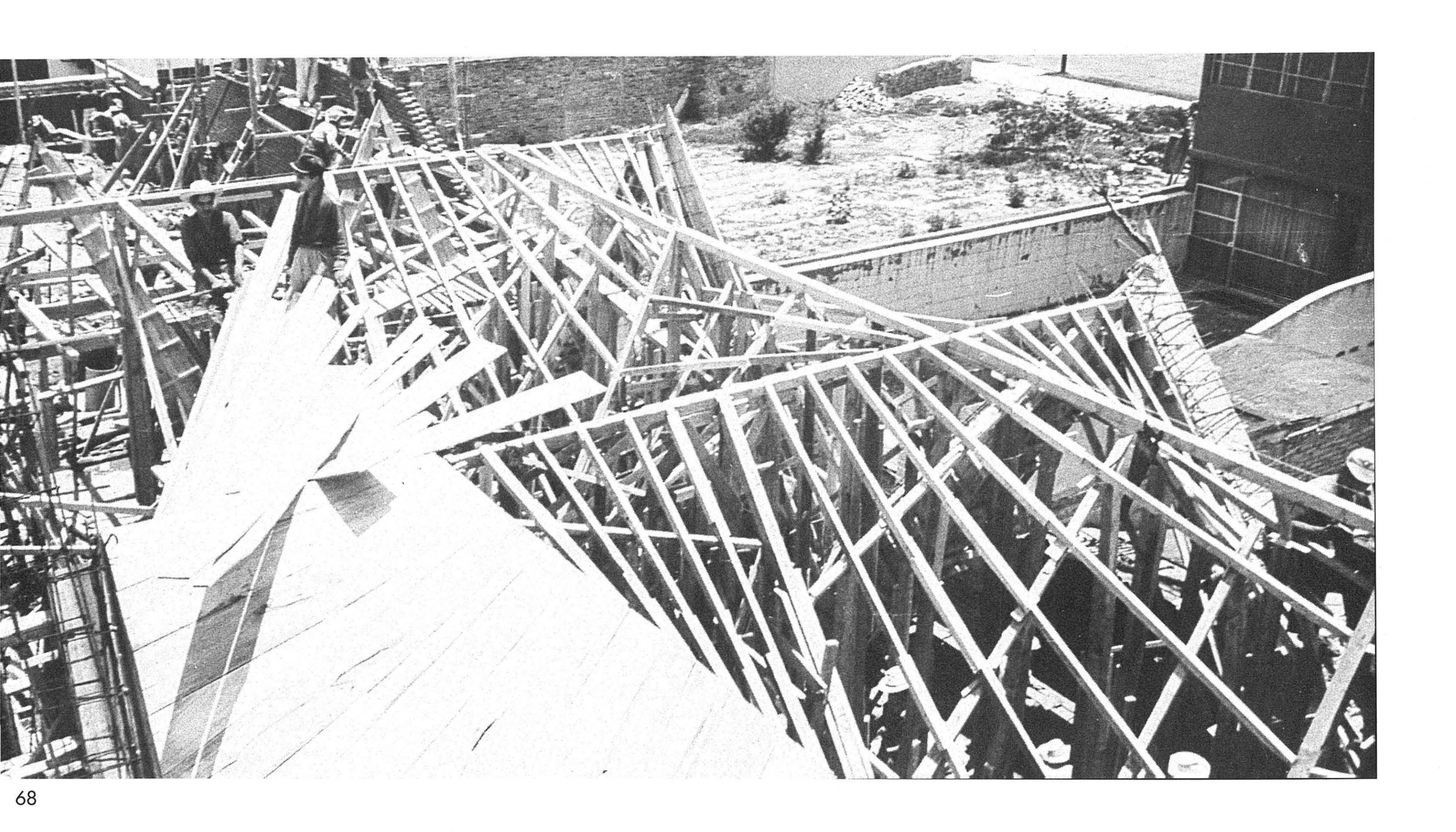




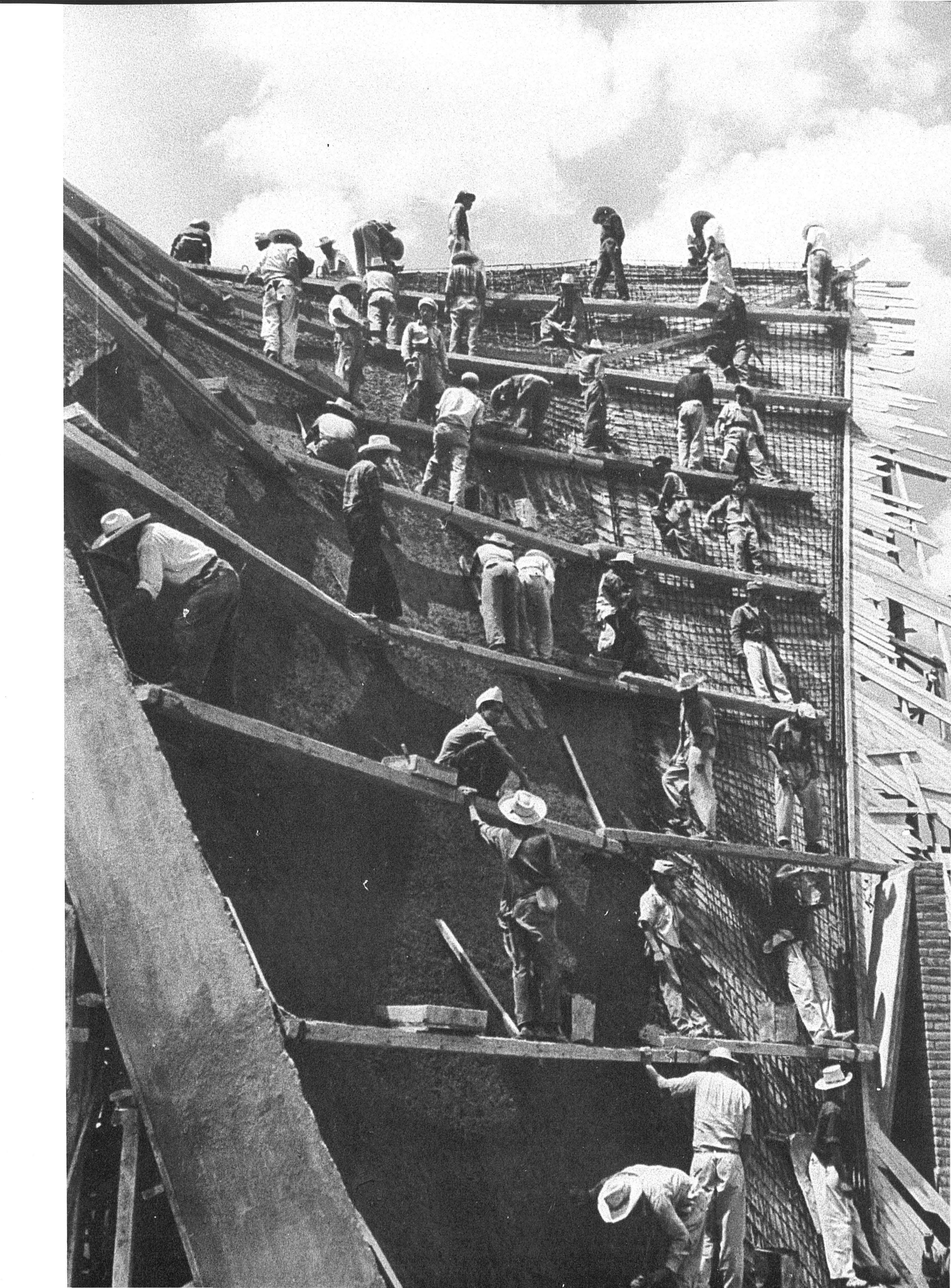
III



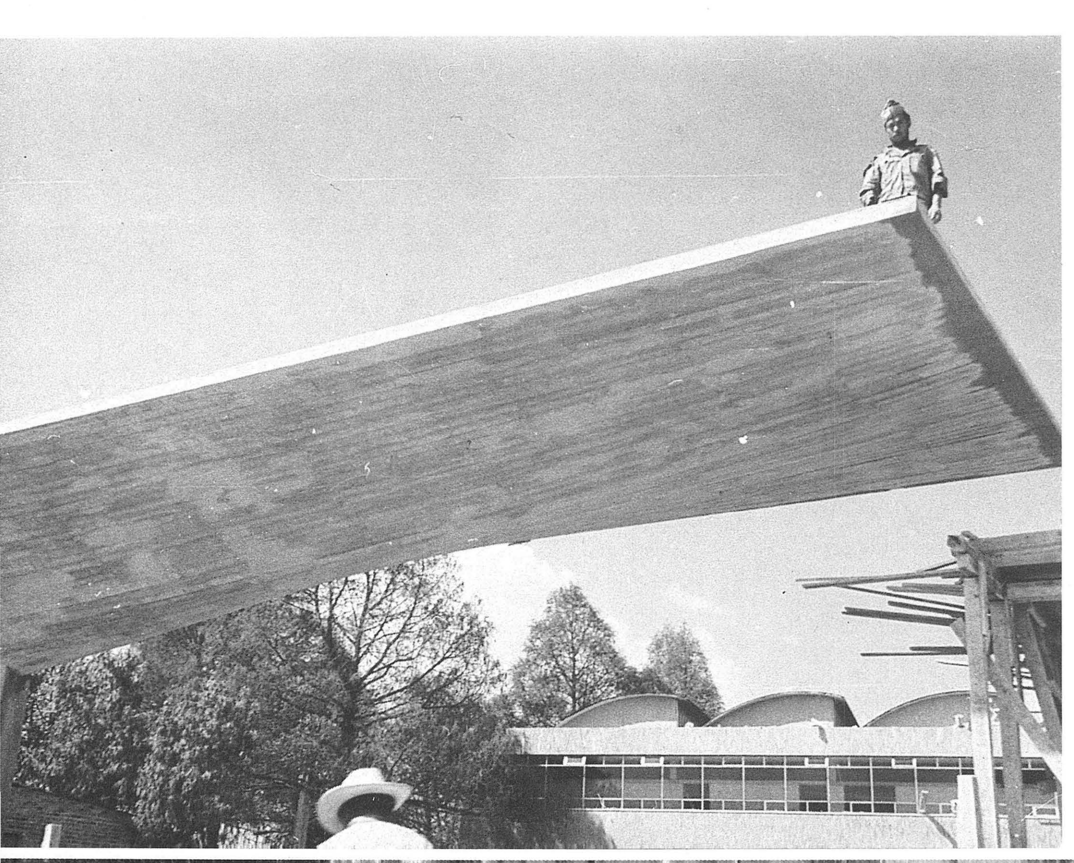
Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa. Navarte, México D.F.,1953.



III

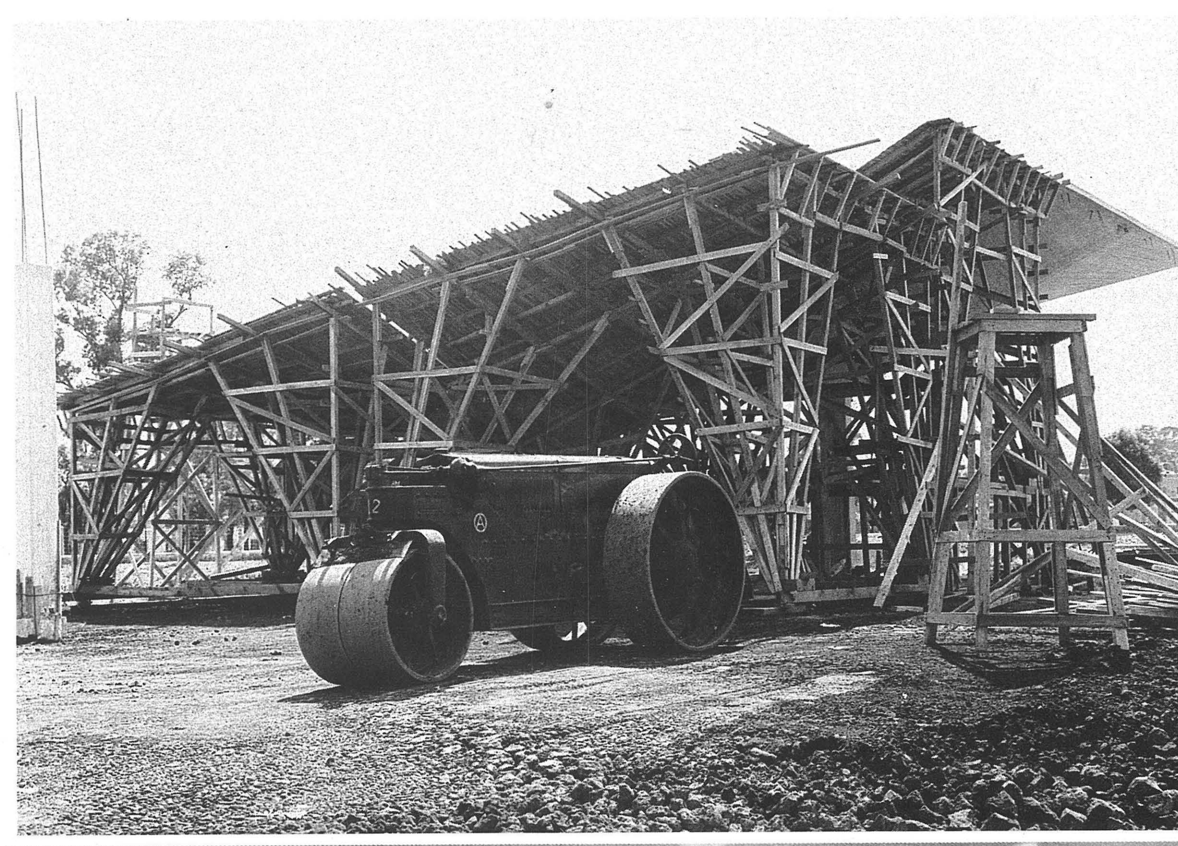


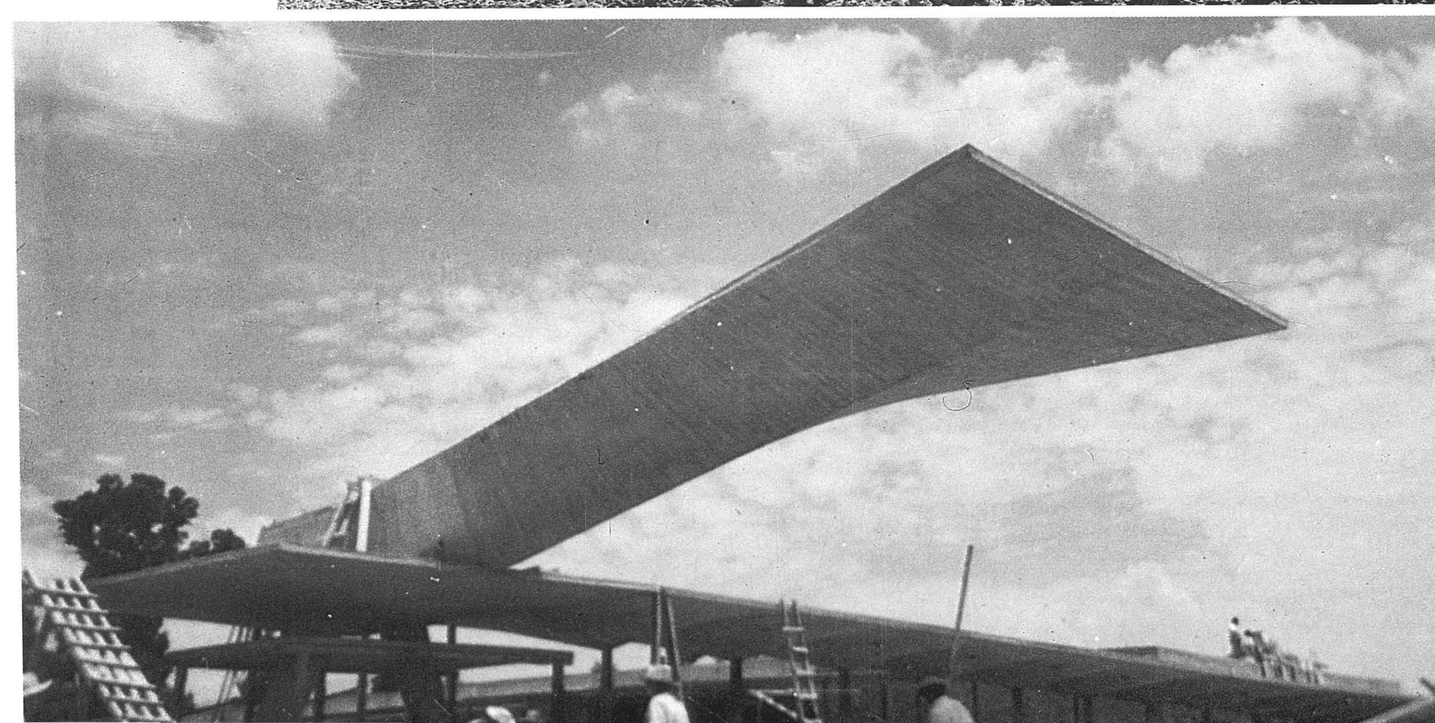
Entrada a los laboratorios Ciba. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1953.

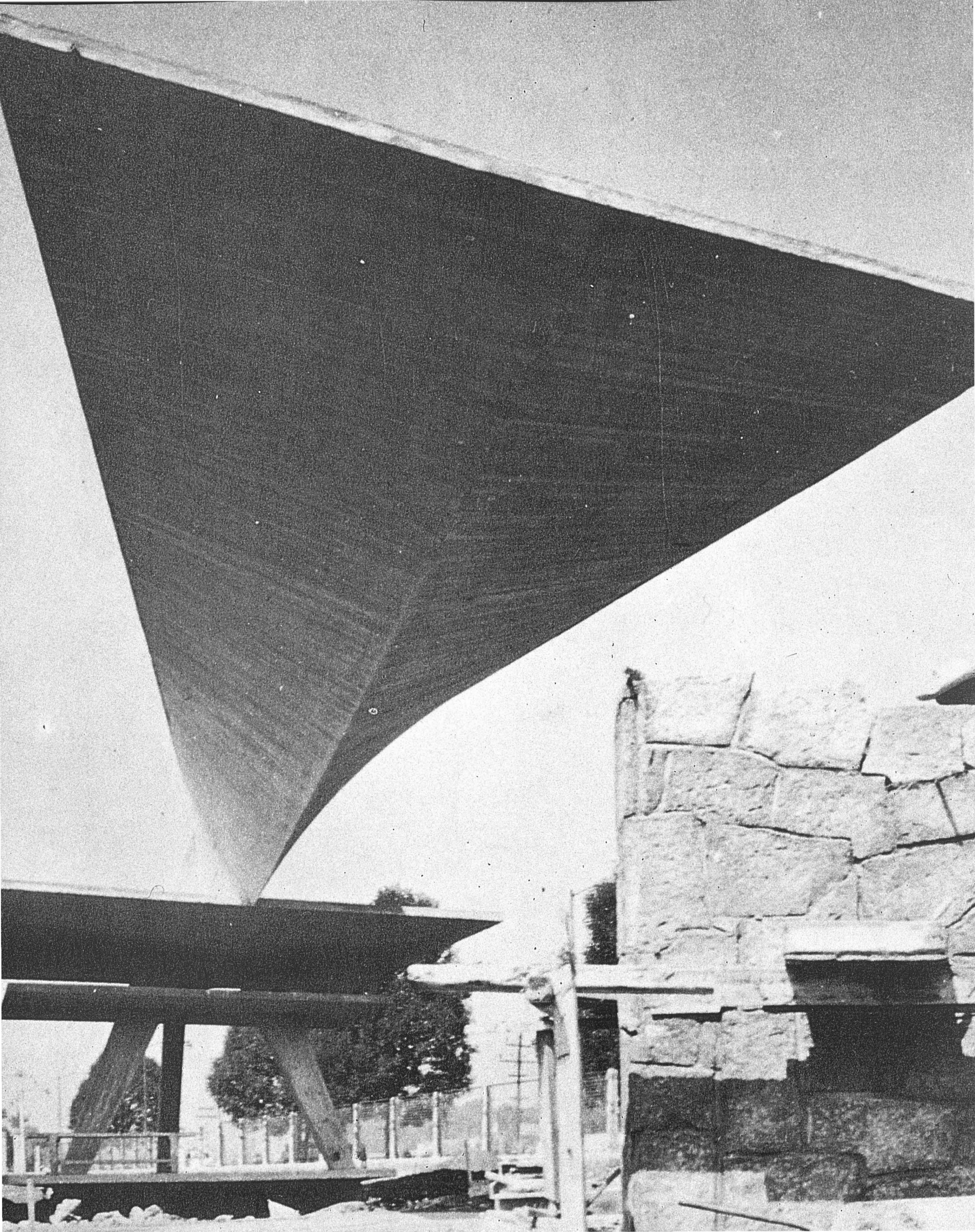




Entrada a los laboratorios Lederle. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1955.

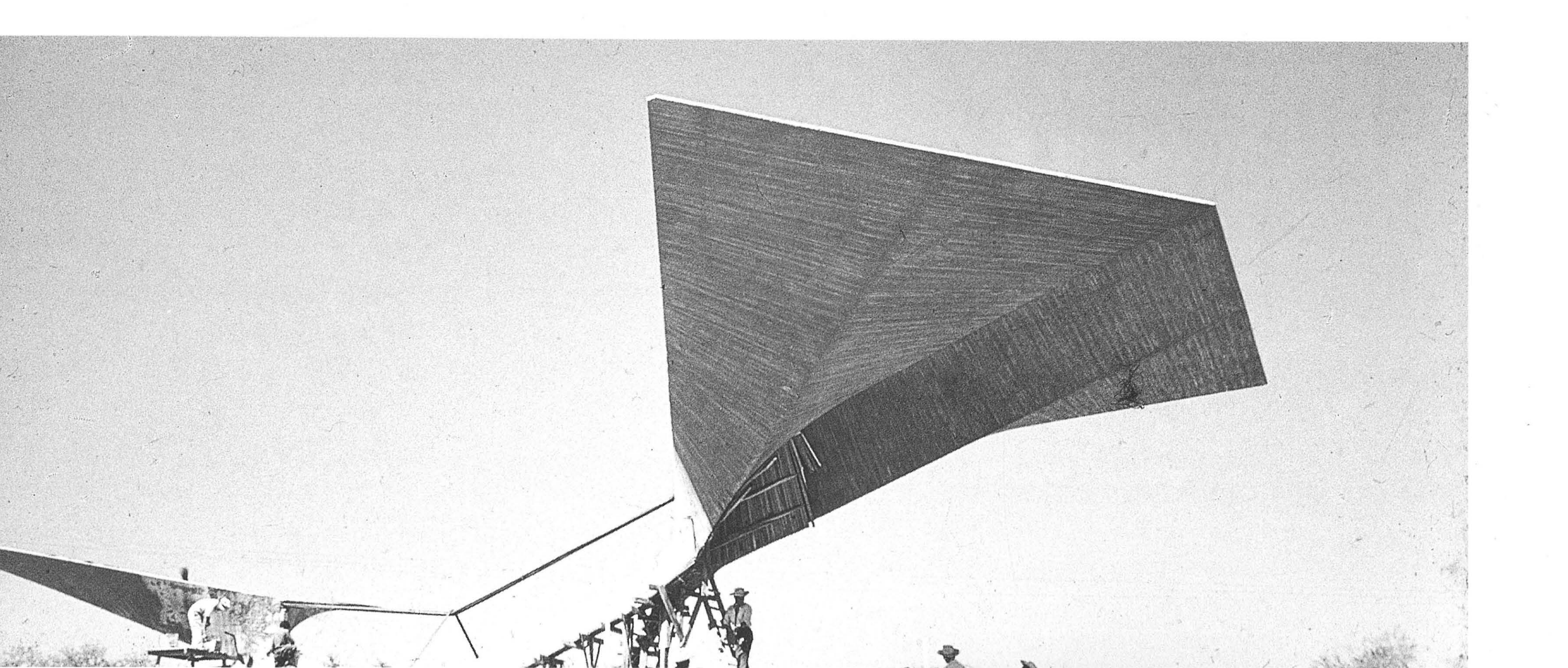






Emblema para el lago Tequesquitengo (Morelos), México, 1957.

◁ Entrada a los laboratorios Lederle.

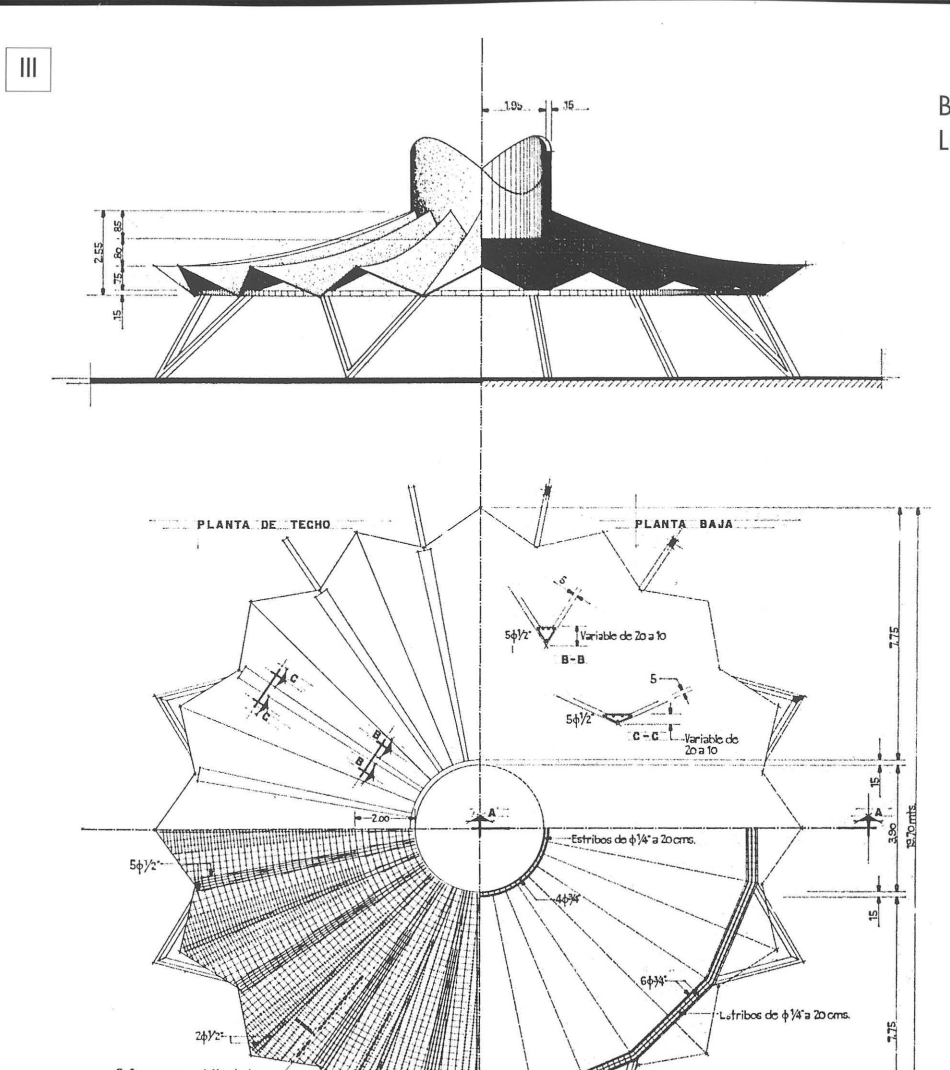


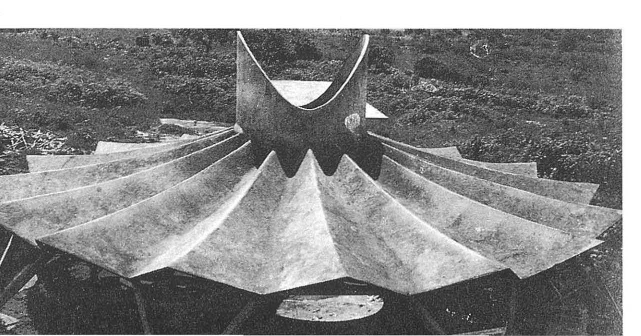
Quiosco de música. Santa Fe, México D.F., 1956.

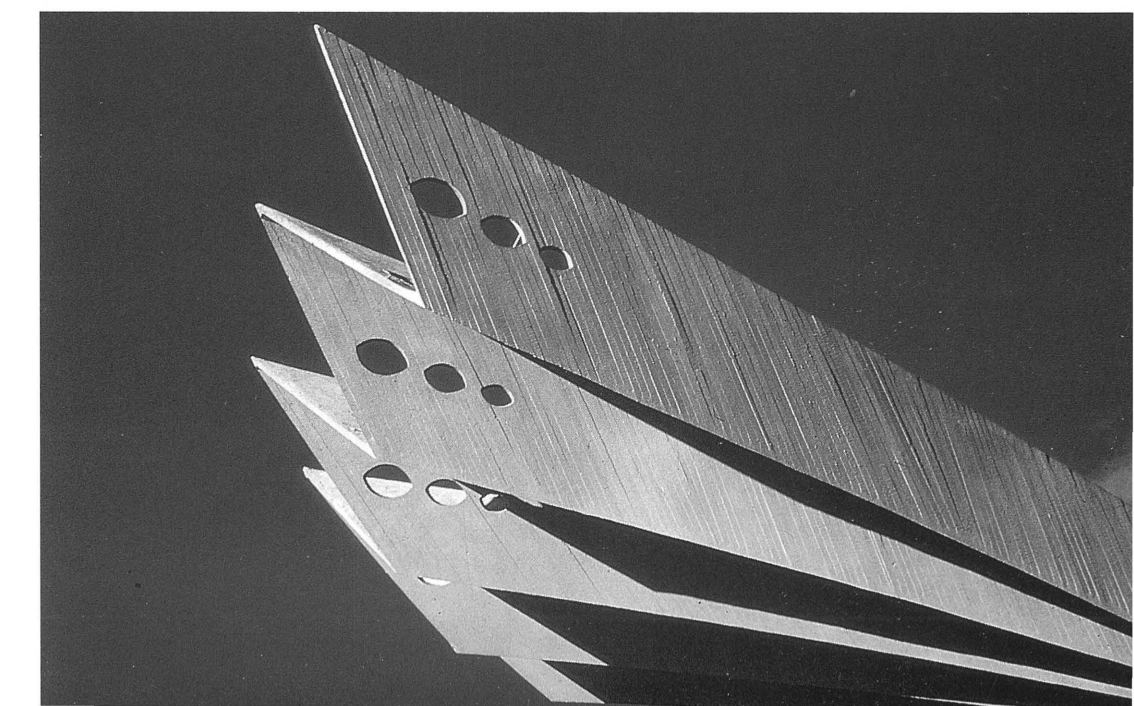


III

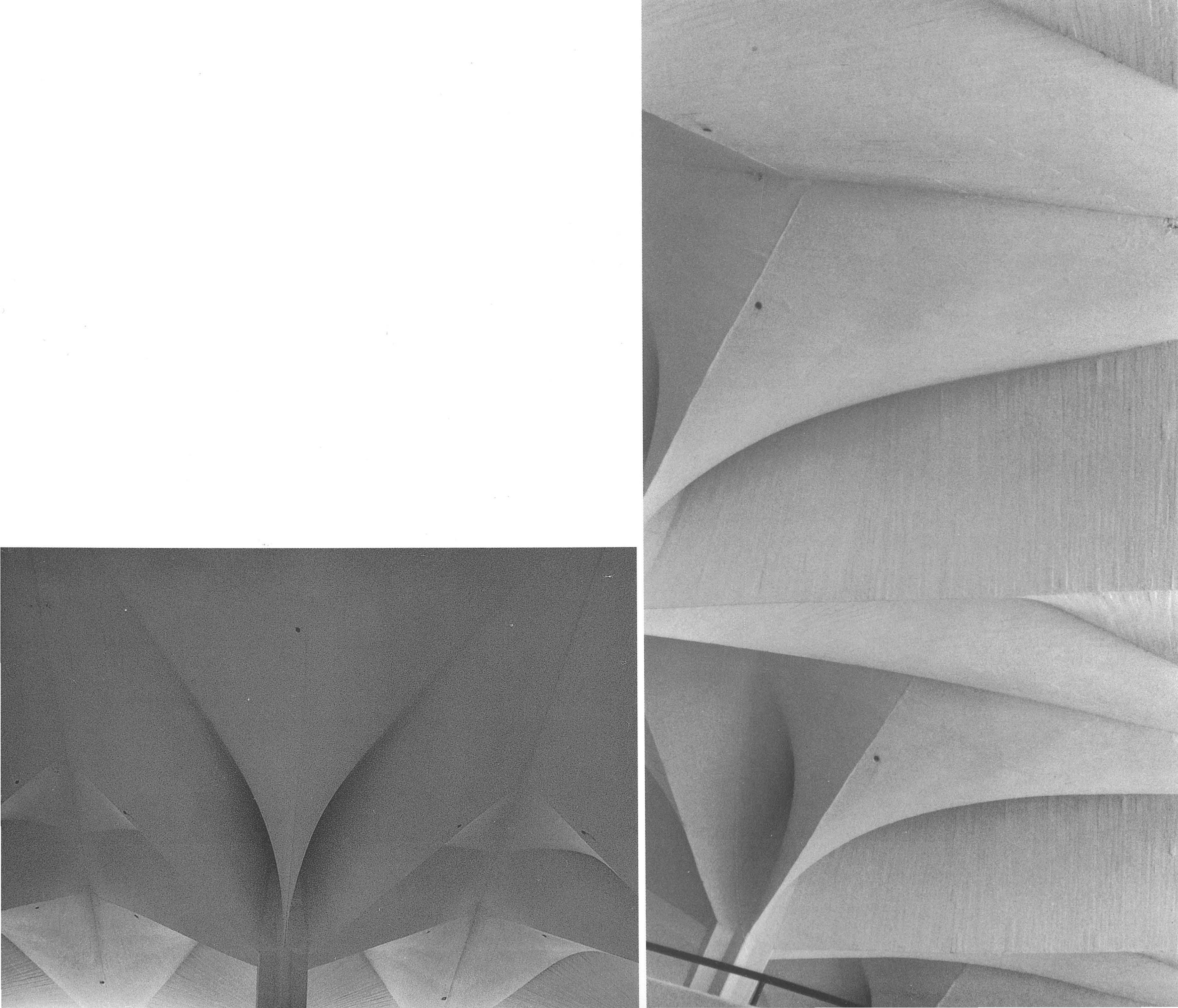
Bazar y fuente ornamental.
Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México, 1958.





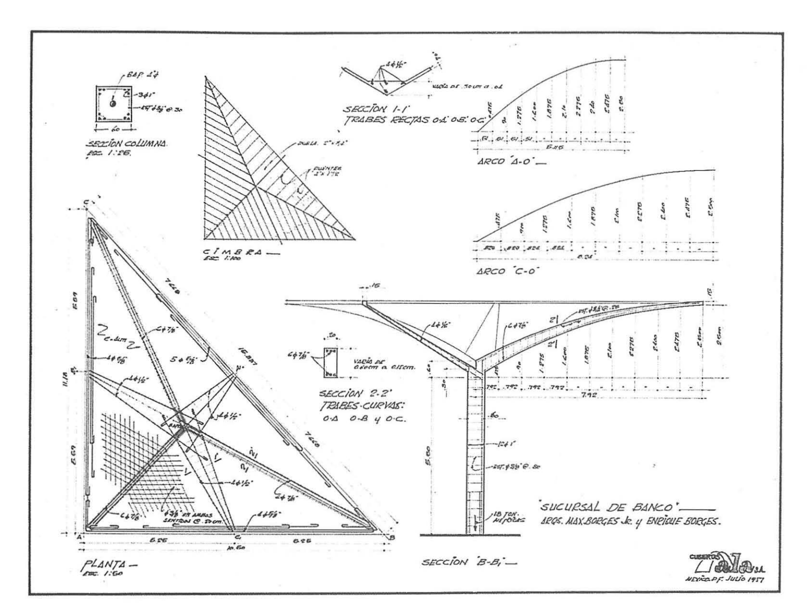


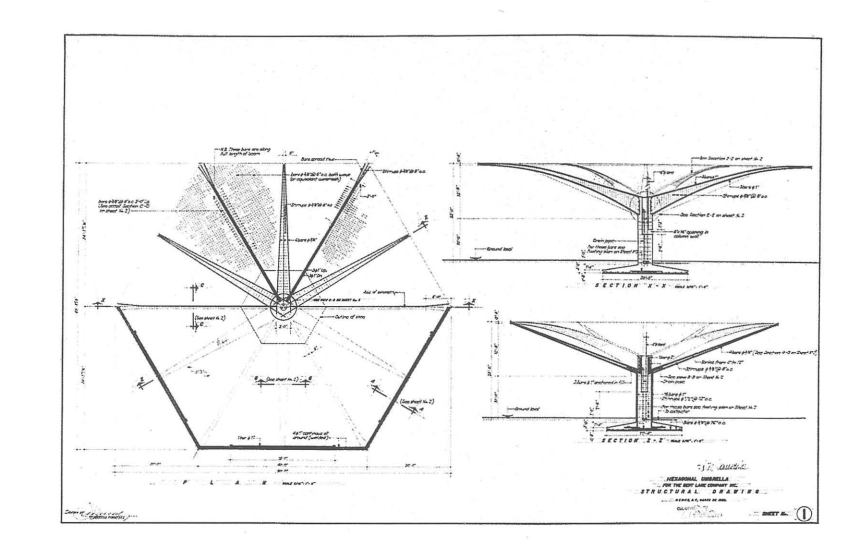
Estación de Metro Candelaria, México D.F., 1967.



III

Otras variaciones a los paraguas.





IV HYPARS CON BORDES RECTOS (Limitados por generatrices rectas)

La configuración más sencilla del paraboloide hiperbólico es en la que aparece limitado por generatrices rectas. Utilizando láminas con esta forma, Cubiertas Ala construyó bastantes edificios, generalmente estructuras religiosas. Formalmente, la utilización de este tipo de estructuras va desde la más sencilla –formada por una simple hoja de hypar–, hasta combinaciones de dos, tres, cuatro o seis hojas, iguales o desiguales, de hypars.

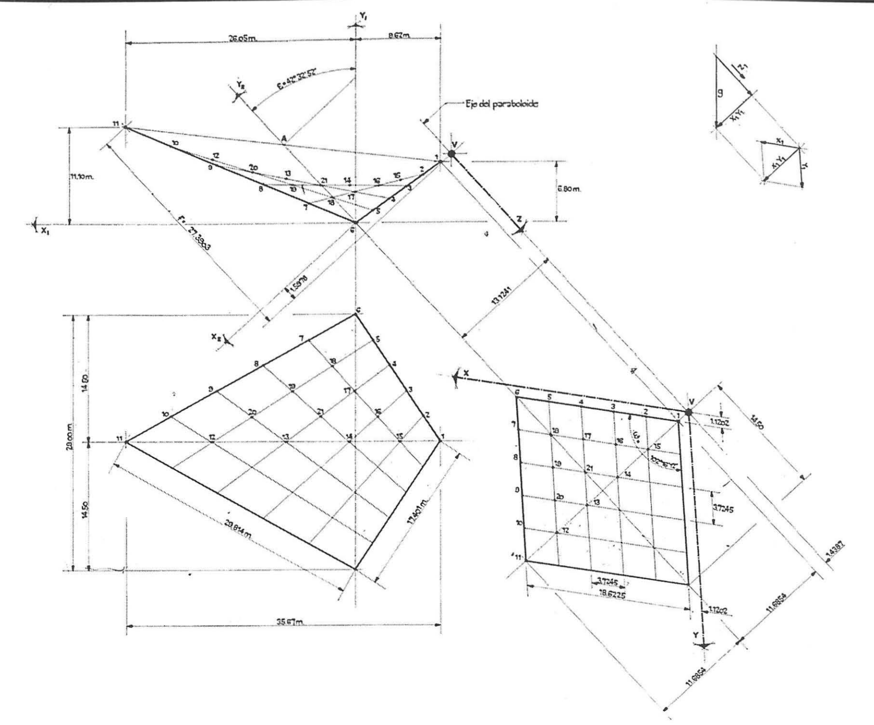
El principal problema con que se encuentra Candela en este tipo de estructuras aparece ya en la primera de ellas, la capilla del Altillo. La cubierta de esta iglesia es una hoja de hypar de planta romboidal (como lo serán las plantas de hypars combinados en las estructuras de las demás iglesias de este tipo), lo que significa que el eje Z no es vertical y, por lo tanto, el peso muerto de la losa de 4 cm tiene componentes según los tres ejes del hypar.

Tuvieron que ser generalizadas las ecuaciones de esfuerzo de membrana del hypar para poder usarse en esta estructura y en las siguientes. Este desarrollo teórico no tenía precedentes en la literatura técnica.

En estos cascarones, el espesor de la lámina es siempre de 4 cm y cabe admirar, en los casos más apuntados, el magnífico ejemplo de hormigonado a mano, sin doble encofrado, de superficies verticales.



Capilla de Nuestra Señora de la Soledad.
San José del Altillo. Coyoacán, México D.F., 1955.





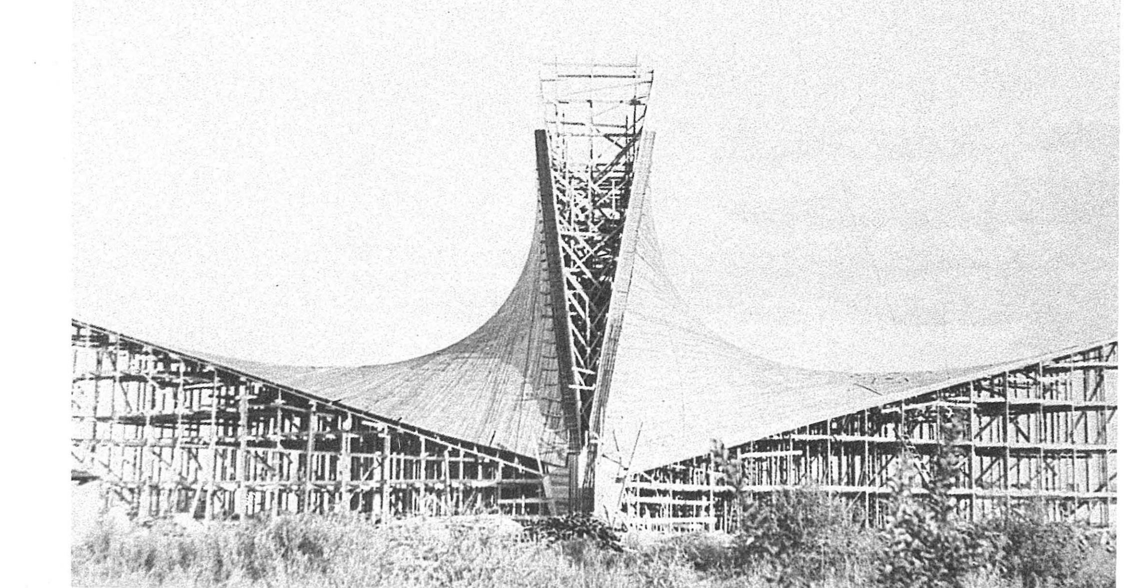




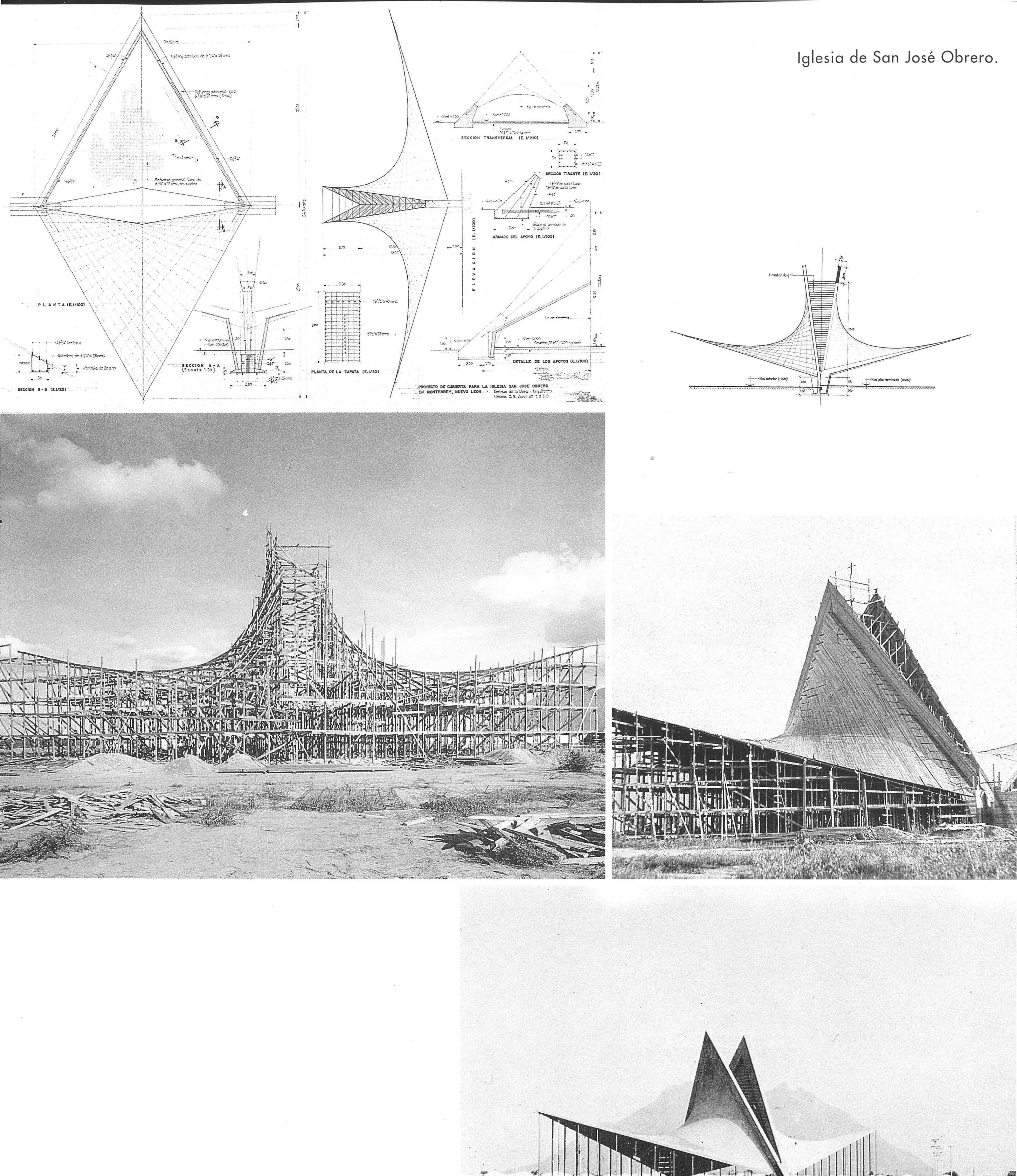
IV

82

Iglesia de San José Obrero.
Monterrey (Nuevo León), México, 1959.

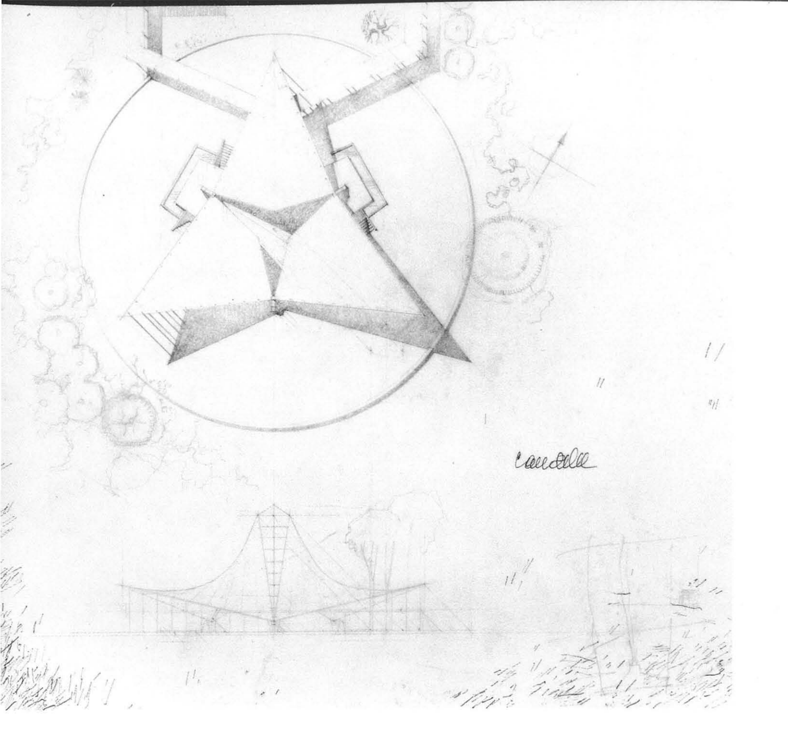


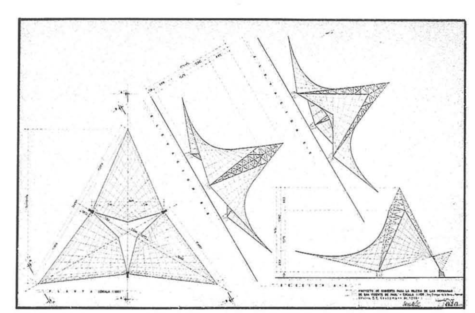
Iglesia de San José Obrero.

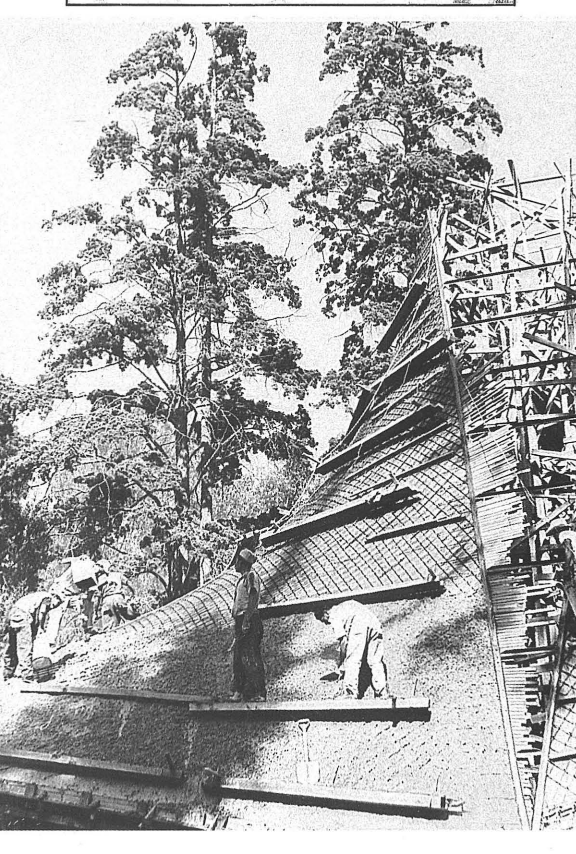


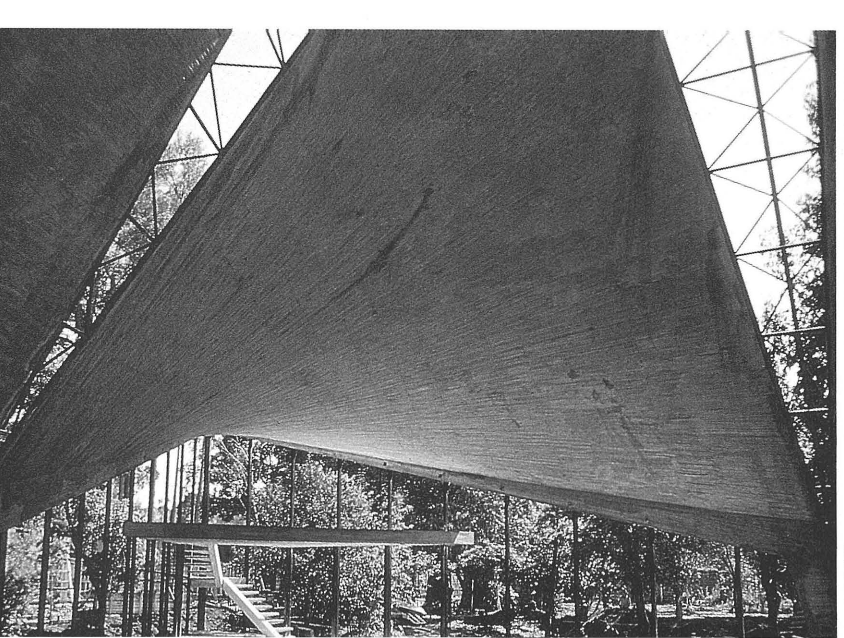


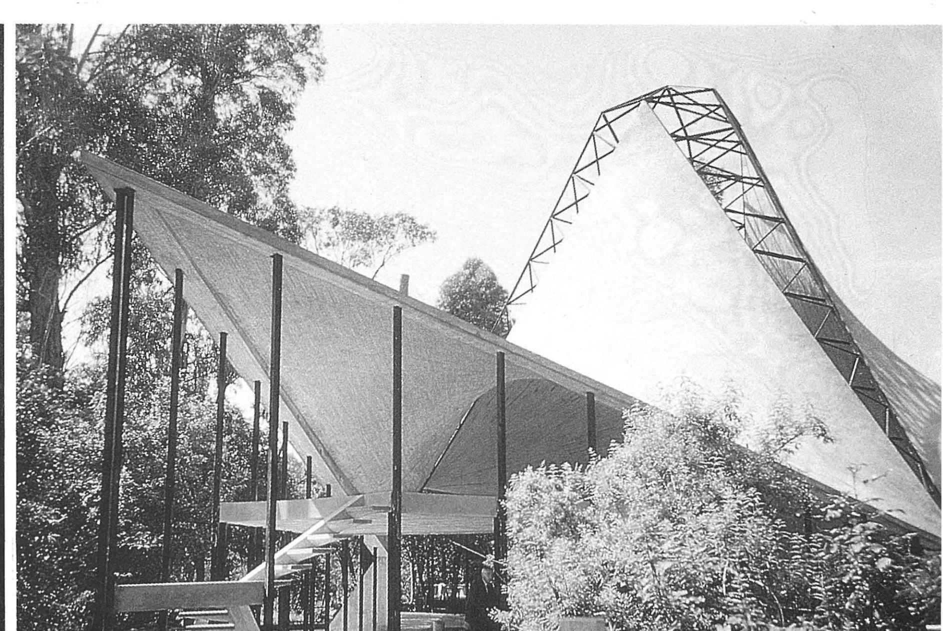
Capilla de San Vicente de Paul. Coyoacán, México D.F., 1959.

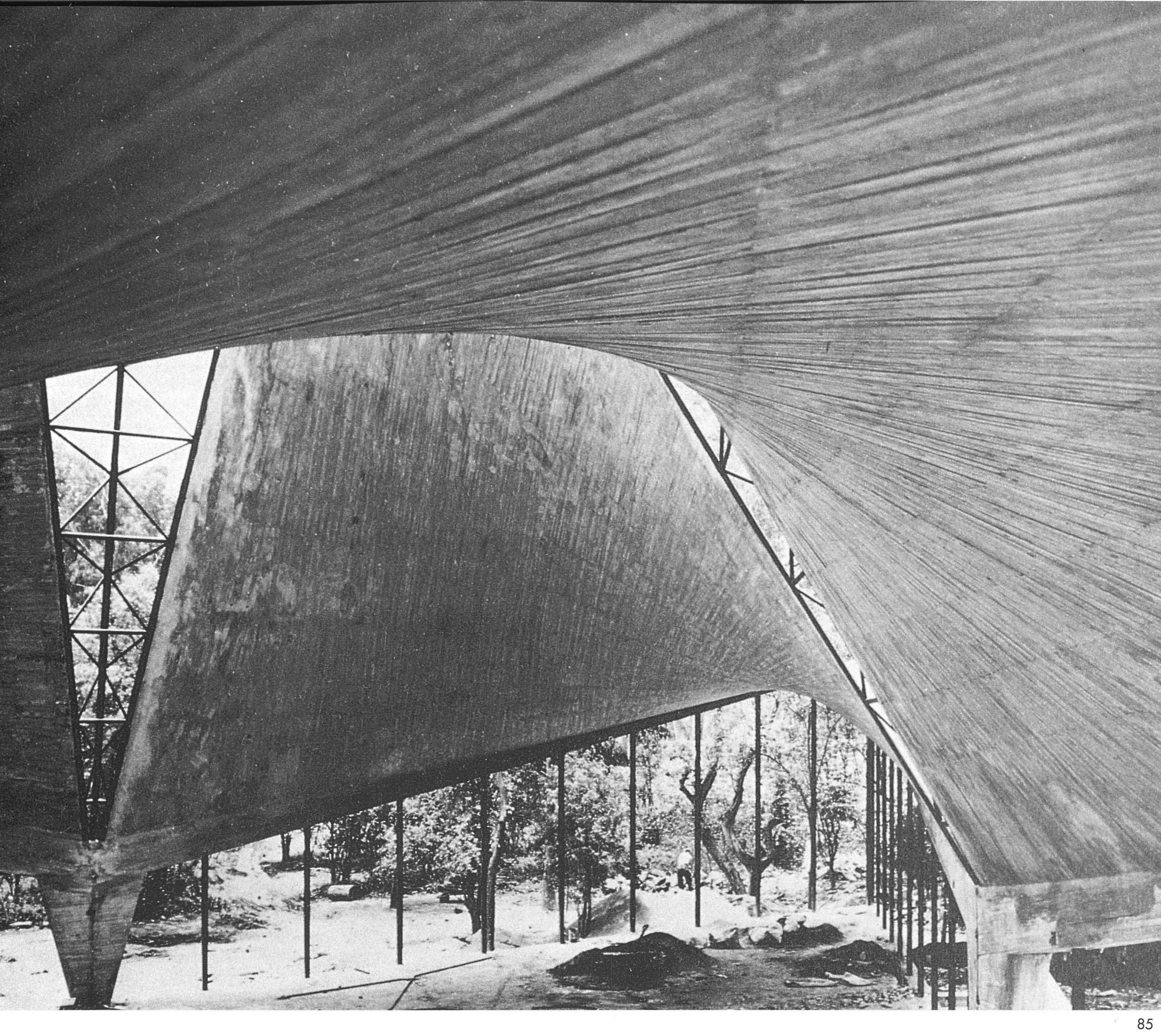












Capilla de San Vicente de Paul. Coyoacán, México D.F., 1959.



IV

Beach Club. Playa Azul, Venezuela. 1958.



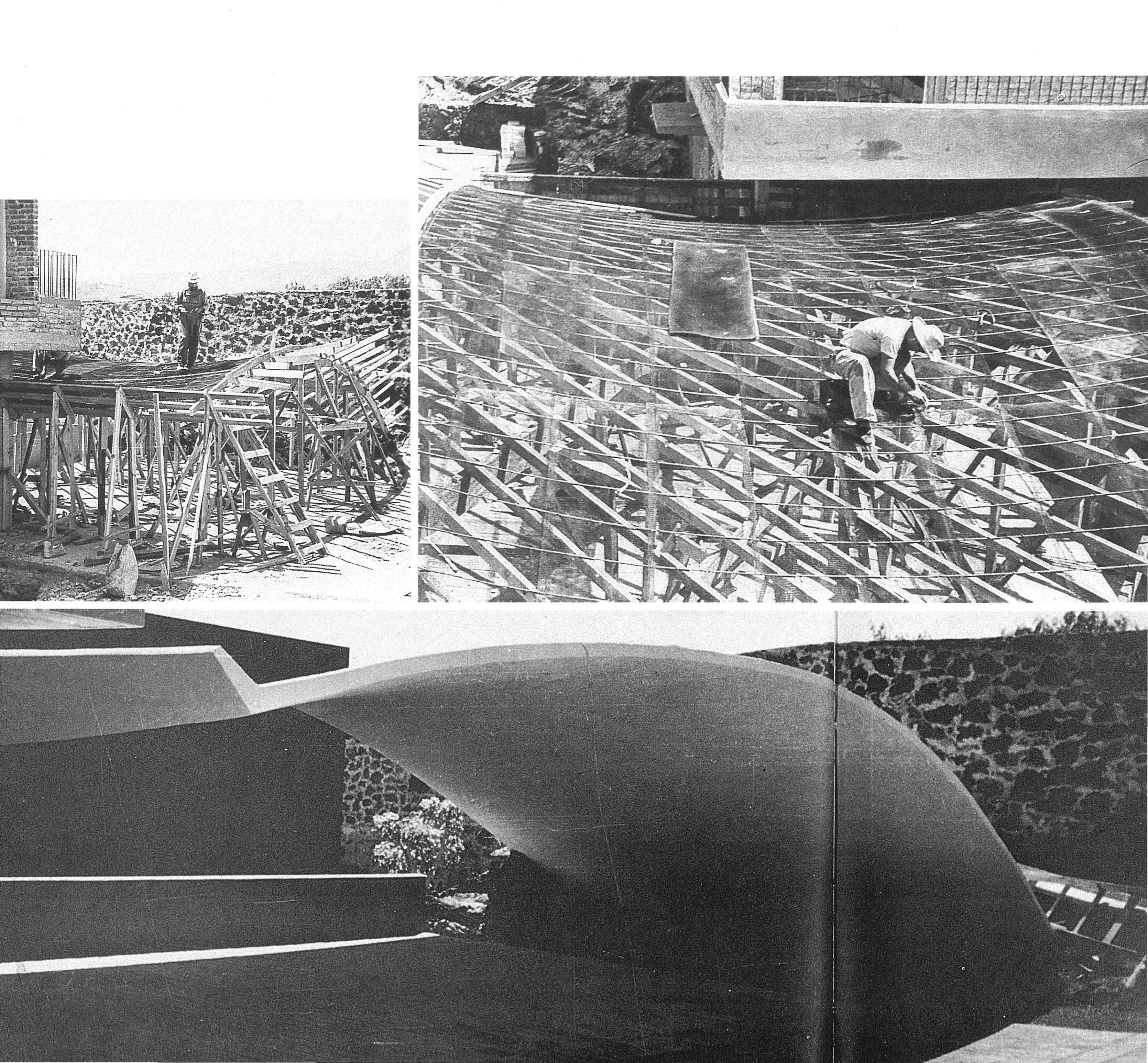
V HYPARS CON BORDES CURVOS

El hypar limitado por parábolas principales constituye la típica configuración de este tipo de superficie, también llamada "silla de montar". El hypar, considerado como superficie de traslación, se genera por una parábola que se mueve, paralela a sí misma, a lo largo de otra parábola situada en un plano perpendicular.

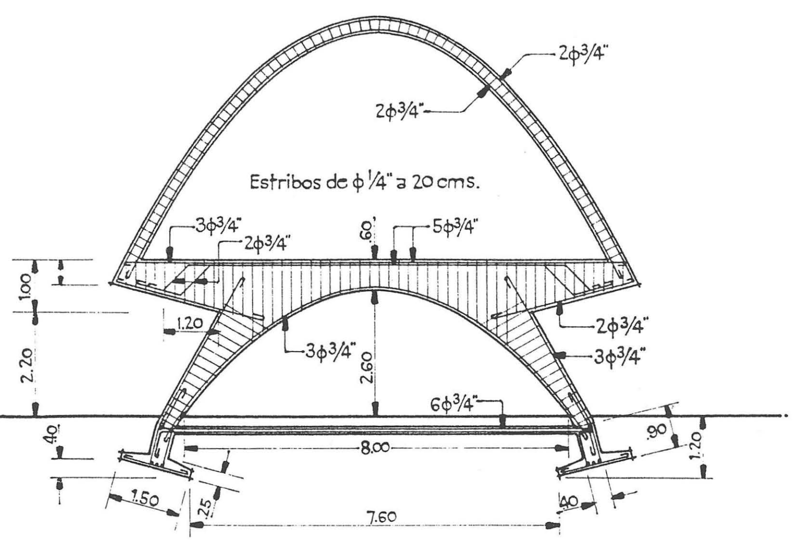
El Pabellón de Rayos Cósmicos, de 1951, fue el cuarto cascarón construido por Cubiertas Ala, y el primero en que se utilizaba el hypar para dar mayor rigidez a una bóveda casi cilíndrica de tan escaso espesor. Fue esta estructura la primera que dio gran prestigio a Candela, tanto por la gracia de su sencillez formal, como por el alarde técnico que suponía su extrema delgadez. El espesor de este cascarón oscila entre 1,5 y 2 cm, requisito funcional para dejar pasar a través de él los rayos cósmicos que se registraban en el interior.

En el cascarón de la capilla abierta de Lomas de Cuernavaca podemos encontrar el ejemplo de los tres tipos de corte que se pueden dar en la superficie de un hypar, en este caso equilátero (parábola, hipérbola y casi rectos –degeneraciones de la otra parábola). Esta capilla se construyó con una simple hoja de hypar que se abre al frente con una luz de 30 m y una altura de 21 m, y cubre a parte de los asistentes que se acomodan bajo ella o entre los árboles cercanos.

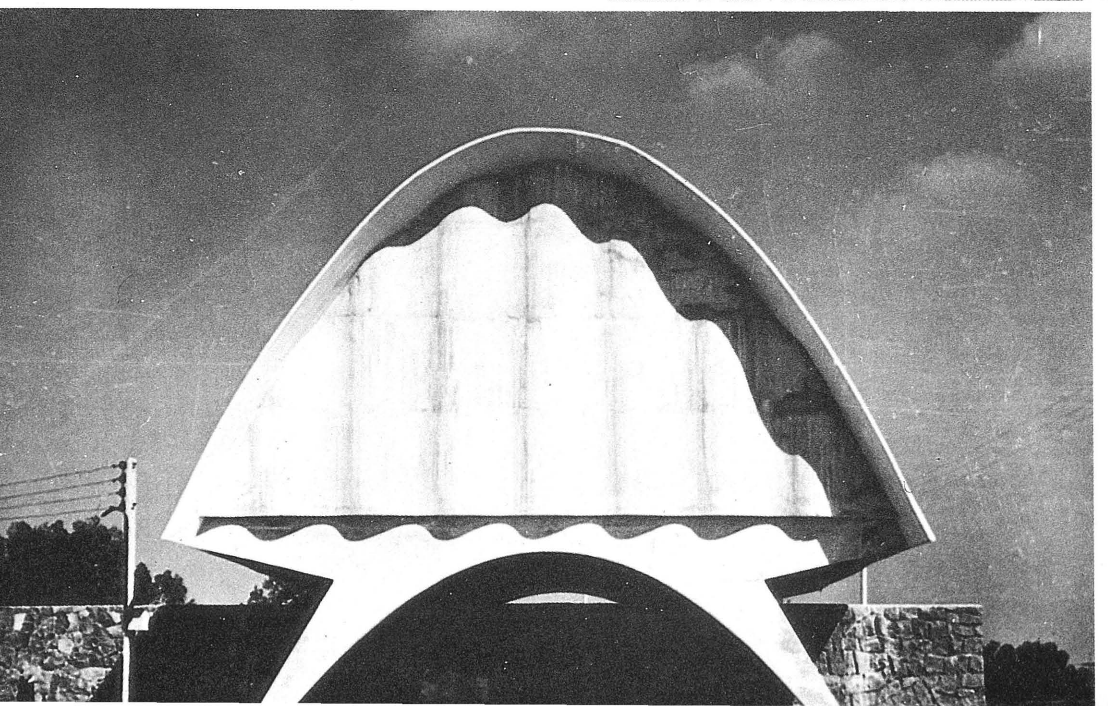
Garaje en la Residencia Almada. Jardines del Pedregal, México D.F., 1951.



Pabellón de Rayos Cósmicos Van de Graaf. Ciudad Universitaria, México D.F., 1951.



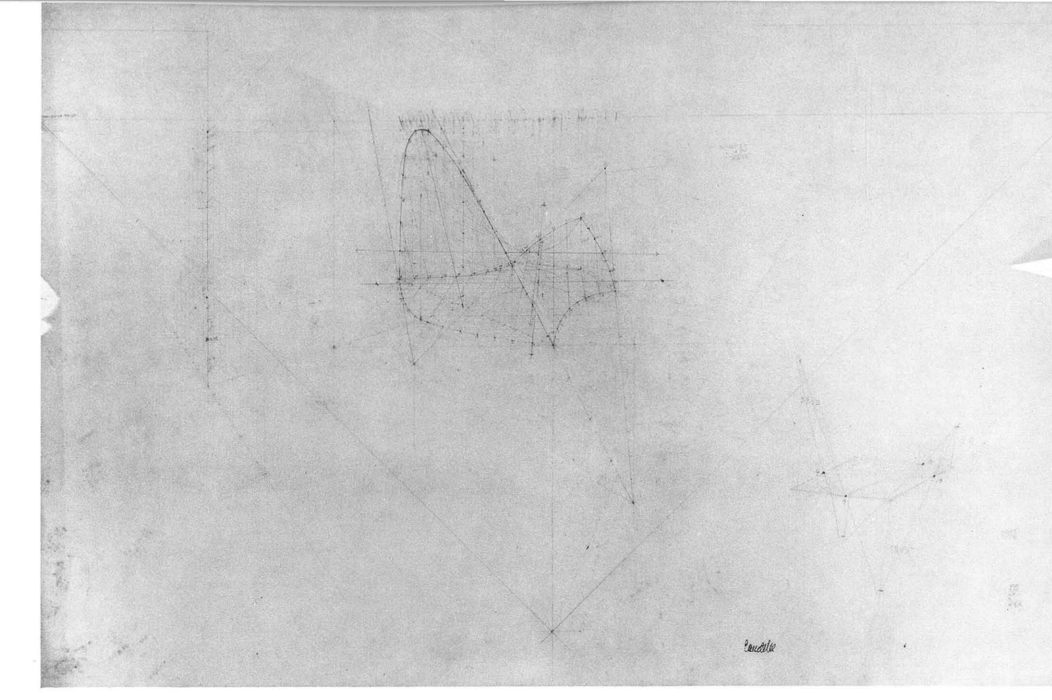


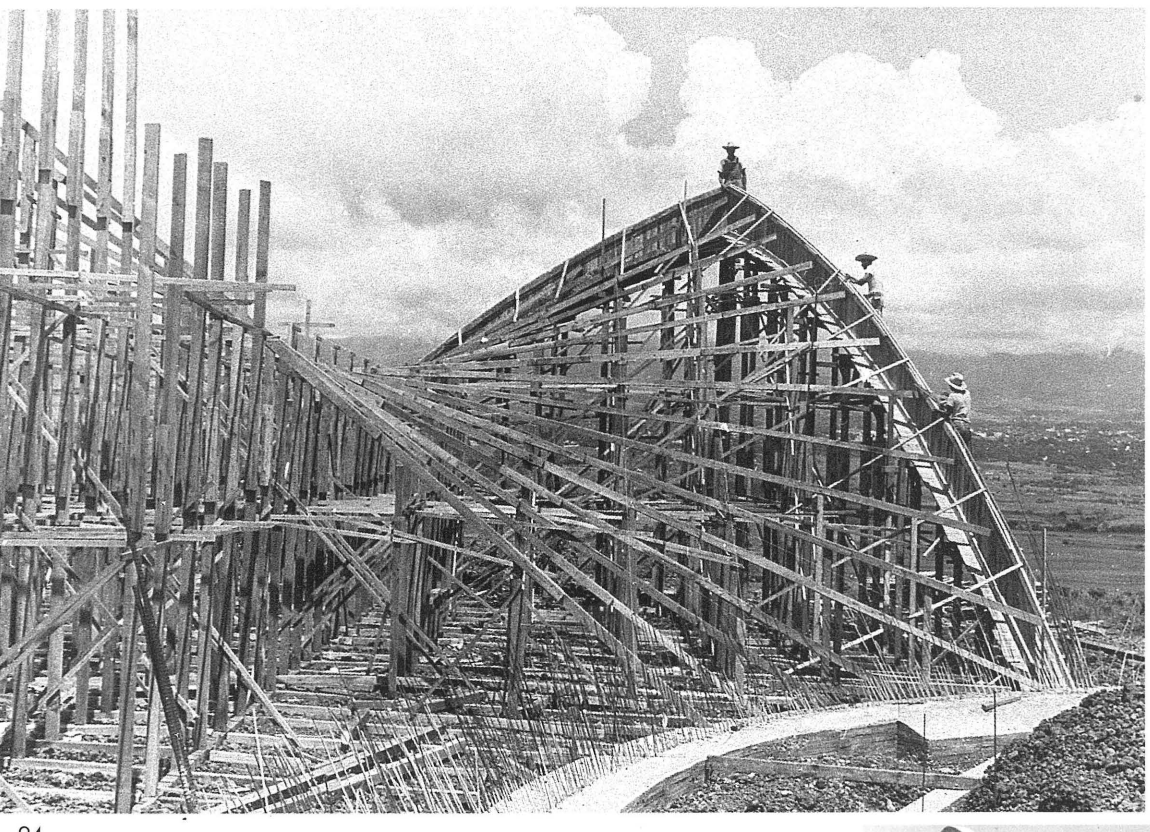


V

Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México. 1958.

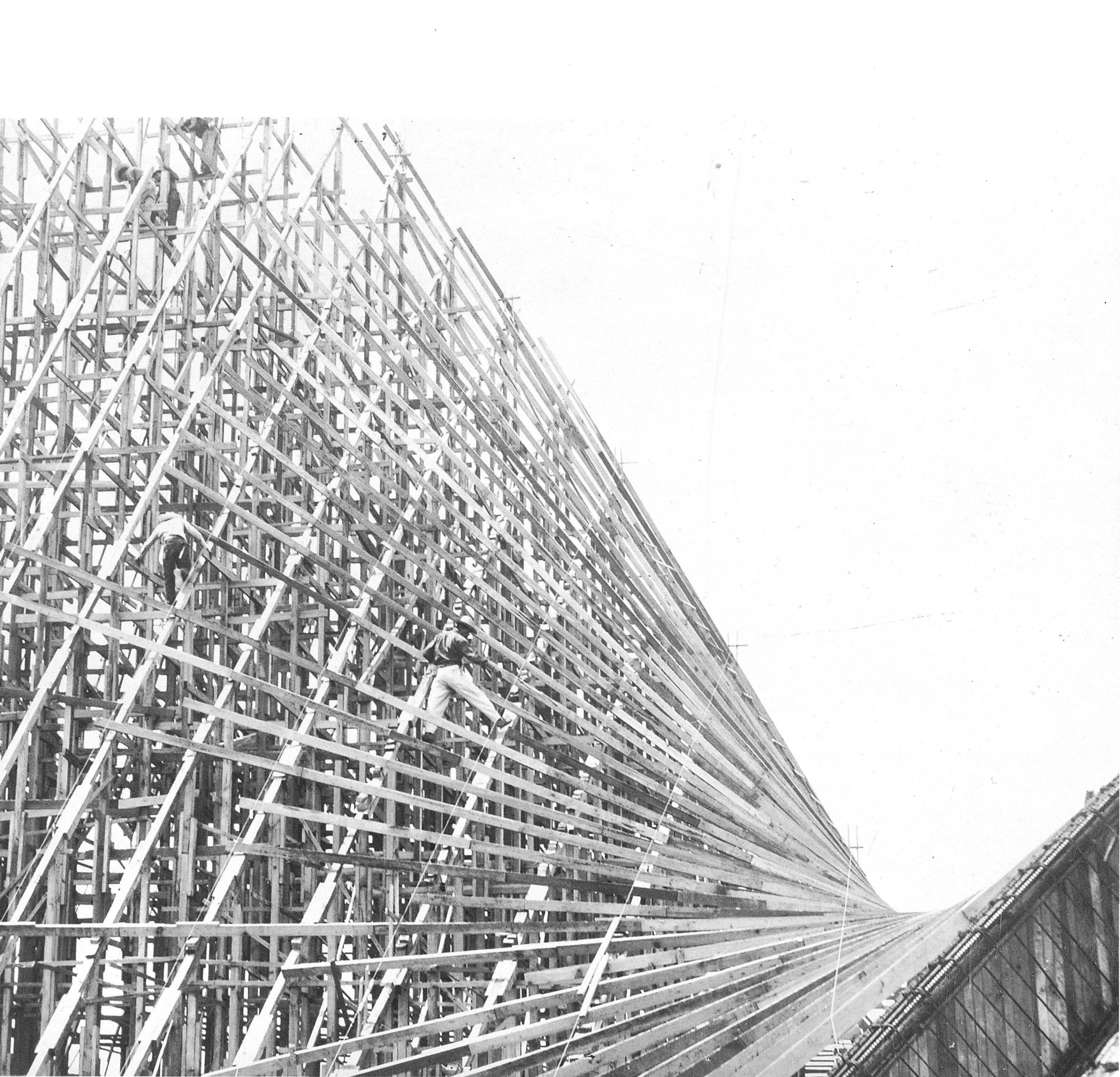
V



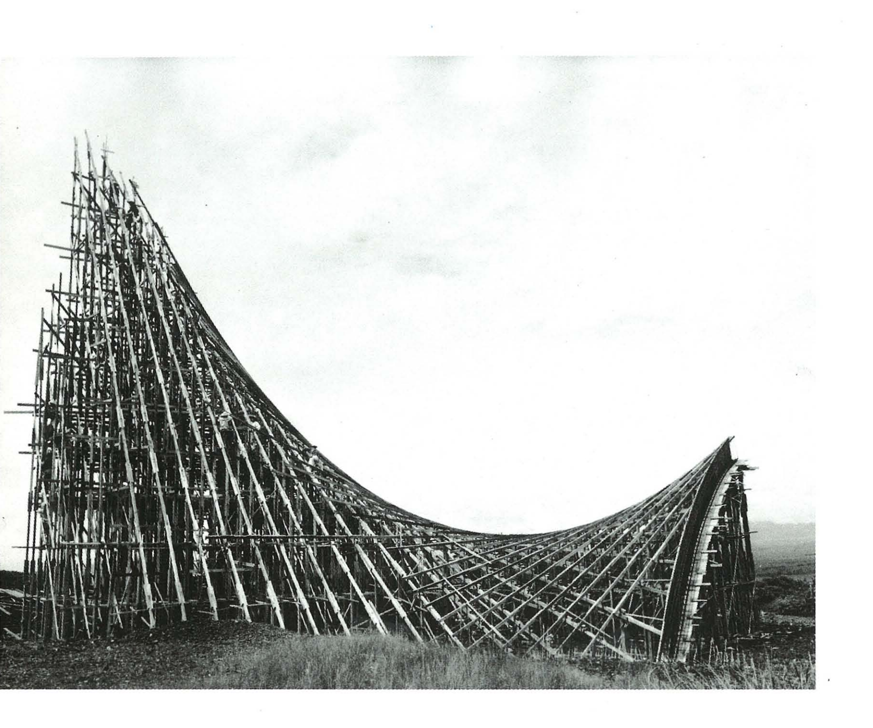




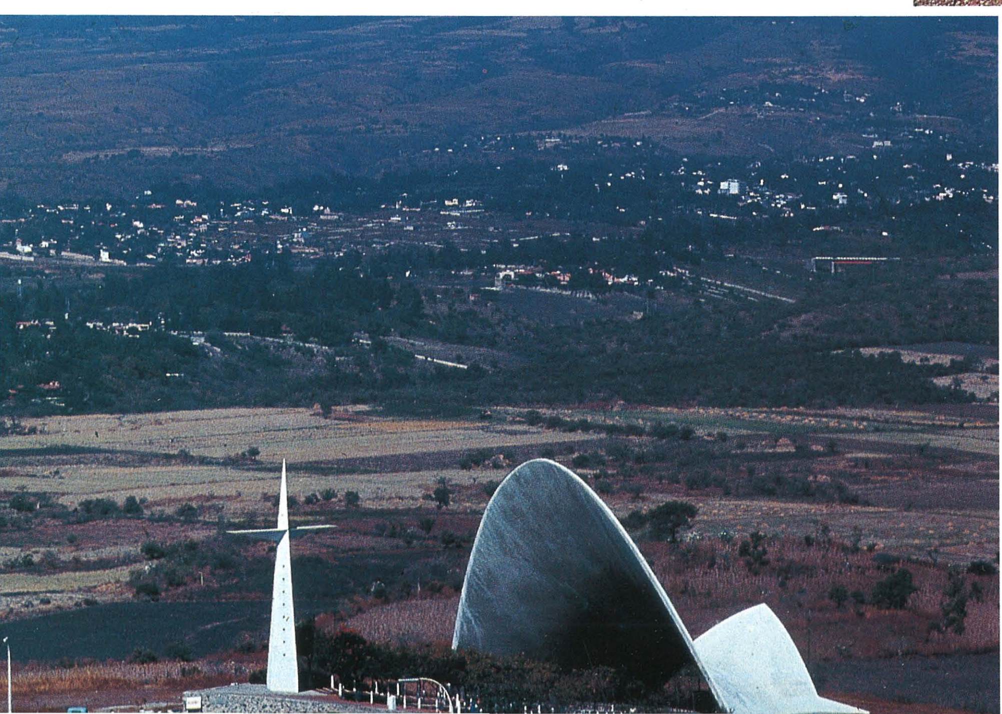
Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México. 1958.



Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México. 1958.





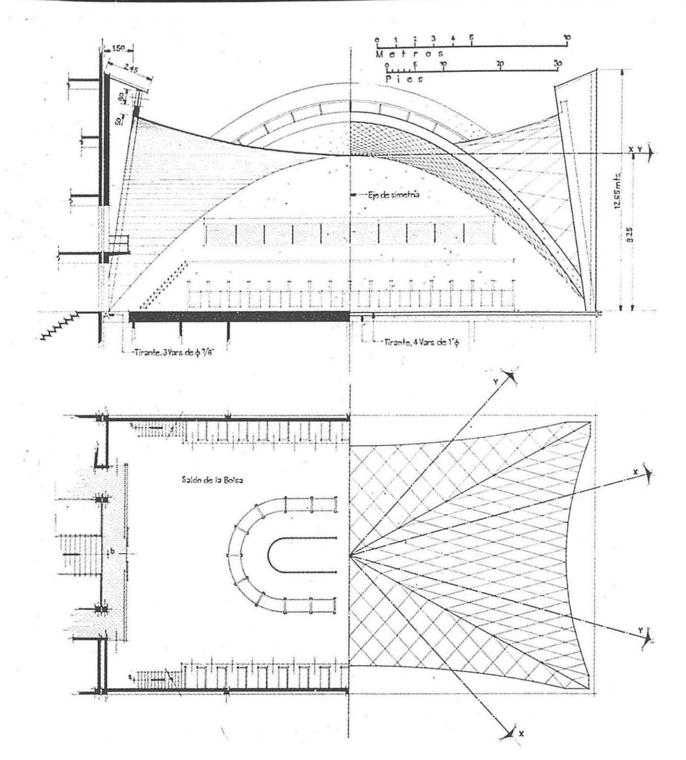


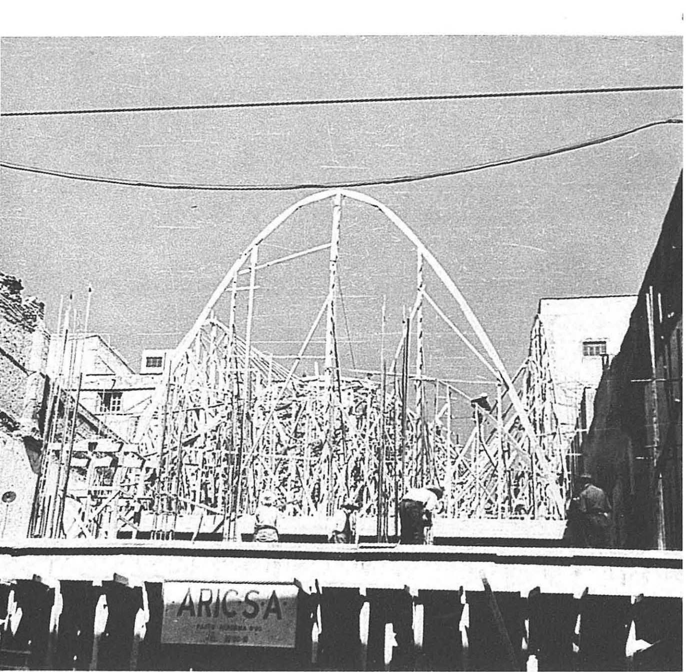
VI BÓVEDAS POR ARISTA CON HYPARS

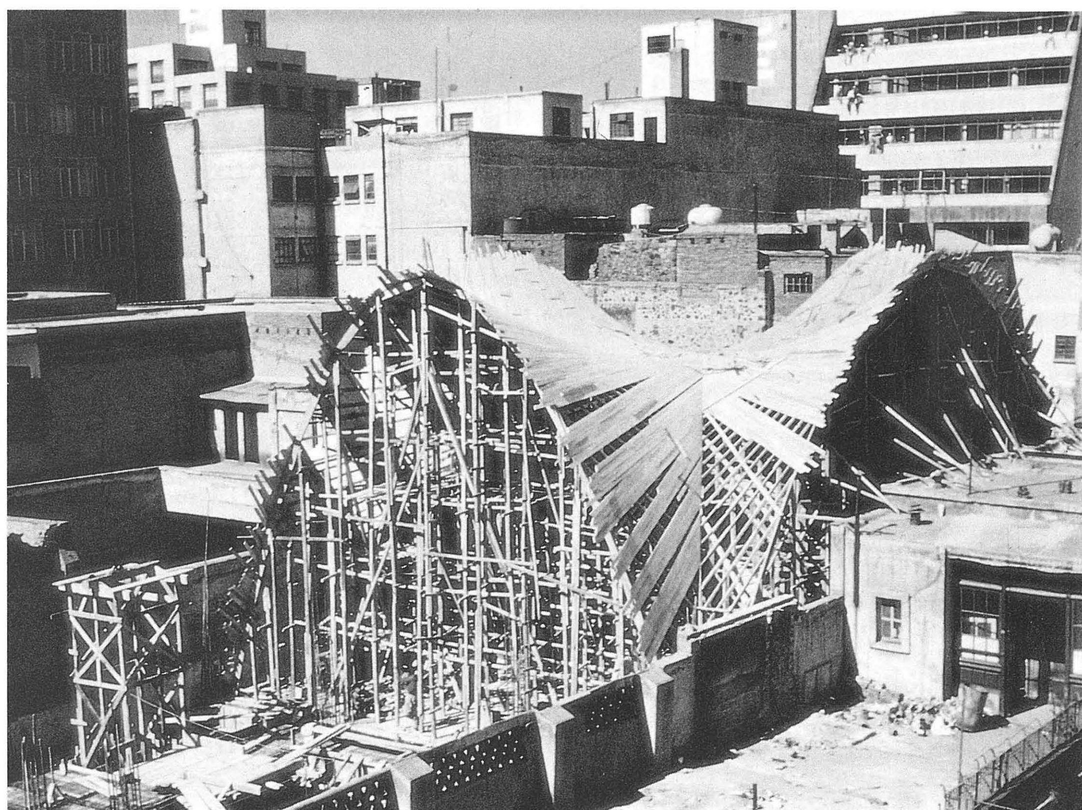
El ejemplo más sencillo de este tipo de estructuras es una bóveda creada por la intersección de dos segmentos de hypar en forma de silla de montar. Su encofrado es más simple que el de una bóveda formada por intersección de cilindros, por tener dos sistemas de generatrices rectas. Además, al estar constituida por superficies no desarrollables, es mucho más rígida y permite construirla con espesores menores.

La primera bóveda de este tipo se construyó para la Bolsa de Valores de México, y durante su ejecución, Candela empezó a intuir la posibilidad del borde libre, que se experimentó por primera vez en la iglesia de San Antonio de las Huertas (sin utilizar vigas o nervaduras de borde y manteniendo por tanto un espesor constante de 4 cm en toda la losa). Como cada punto del borde curvo está conectado a las aristas por dos líneas rectas, si consideramos éstas como piezas de compresión o tracción, es posible dejar los bordes curvos libres de esfuerzos tangenciales o normales y llevar todas las cargas a los apoyos a través de las aristas.

A partir de esta obra se construyeron muchas bóvedas por arista, siempre con el borde libre, y se experimentó todo tipo de combinaciones (triangulares, cuadradas, pentagonales, hexagonales, octogonales). Quizá la más famosa de estas estructuras sea el cascarón del restaurante Los Manantiales en Xochimilco, de planta octogonal, formada por la intersección de cuatro hypars; otro ejemplo destacable, bellísimo, de esta familia estructural, y que ha inspirado a muchos arquitectos en sus diseños, es la planta embotelladora de la destilería Bacardí en Cuautitlán (México). Esta cubierta está compuesta por seis bóvedas por arista cuadradas y con bordes volados, que se separan en las esquinas formando lucernarios. Estas bóvedas son las mayores construidas por Cubiertas Ala, con 30 m de lado, y son un ejemplo exquisito del cascarón delgado aplicado a grandes claros.


Metros
Pies
Eje de simetría
12.65 mts.
8.25
Tirante, 3 Vars. de φ 7/8"
Tirante, 4 Vars. de 1"φ
Salón de la Bolsa

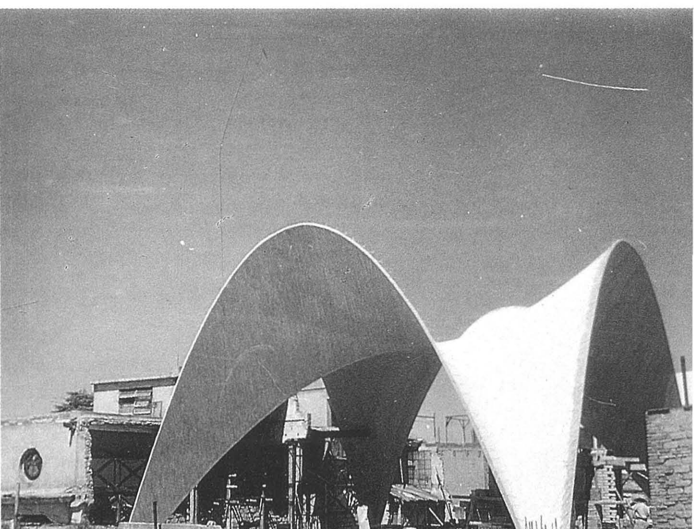

ARICSA



Cubierta para el antiguo edificio de la Bolsa de Valores de México. Calle Uruguay, México D.F., 1955.

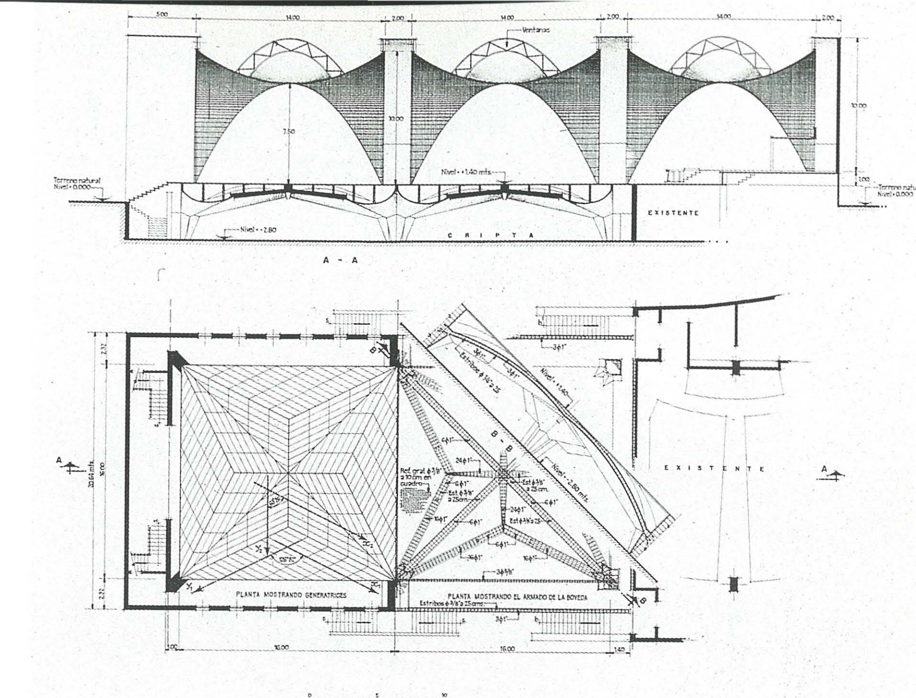


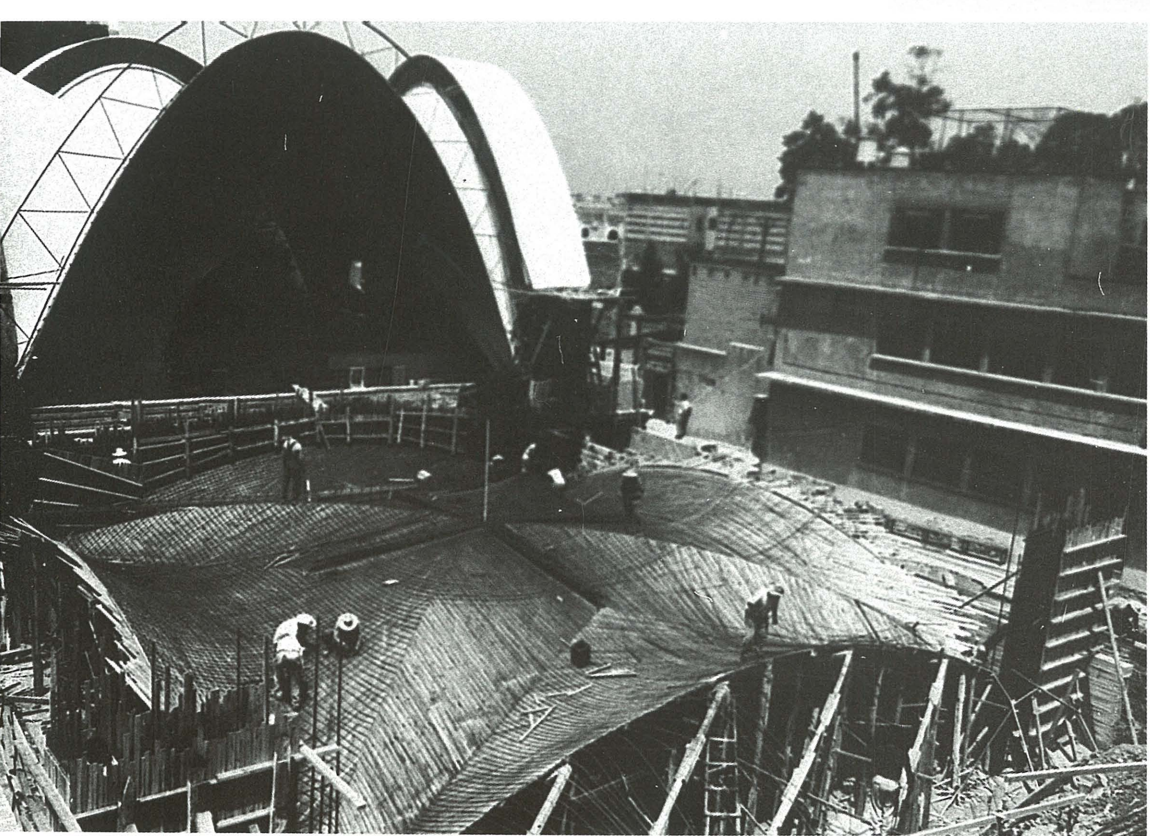
Cubierta para el antiguo edificio de la Bolsa de Valores de México. Calle Uruguay, México D.F., 1955.

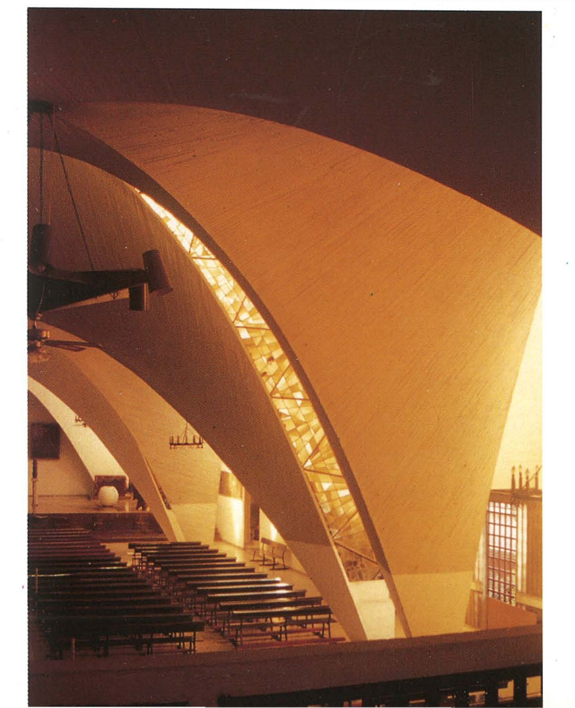


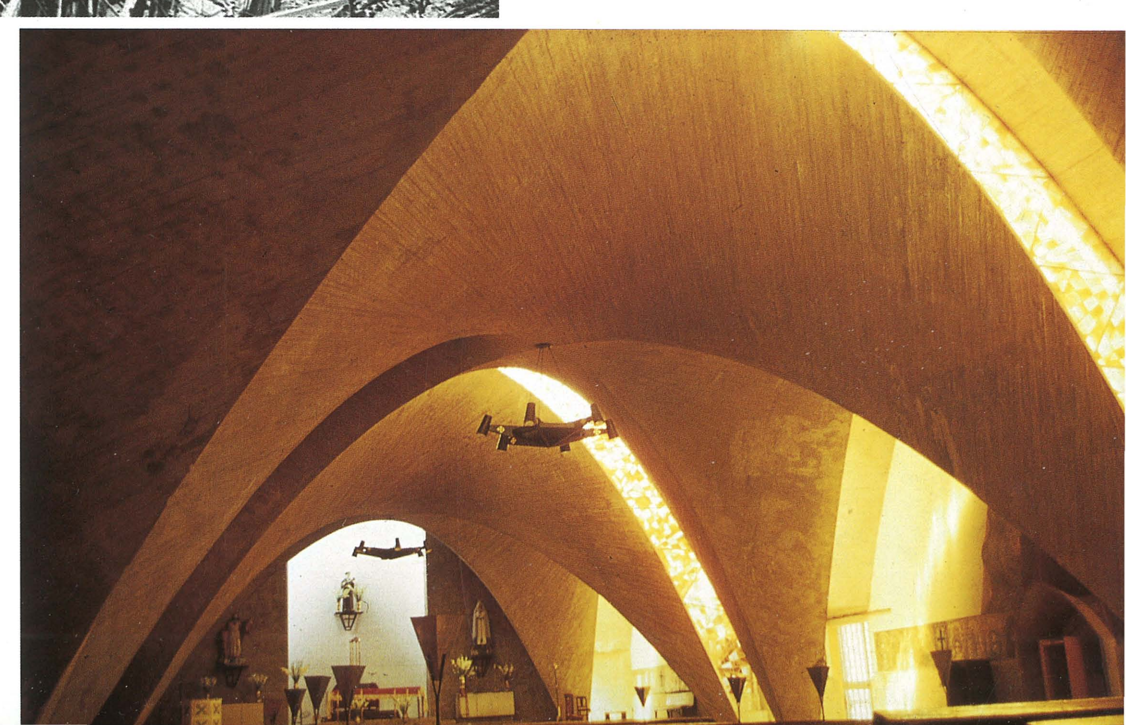
VI

Iglesia de San Antonio de las Huertas.
Calzada de México, Tacuba, México D.F., 1956.





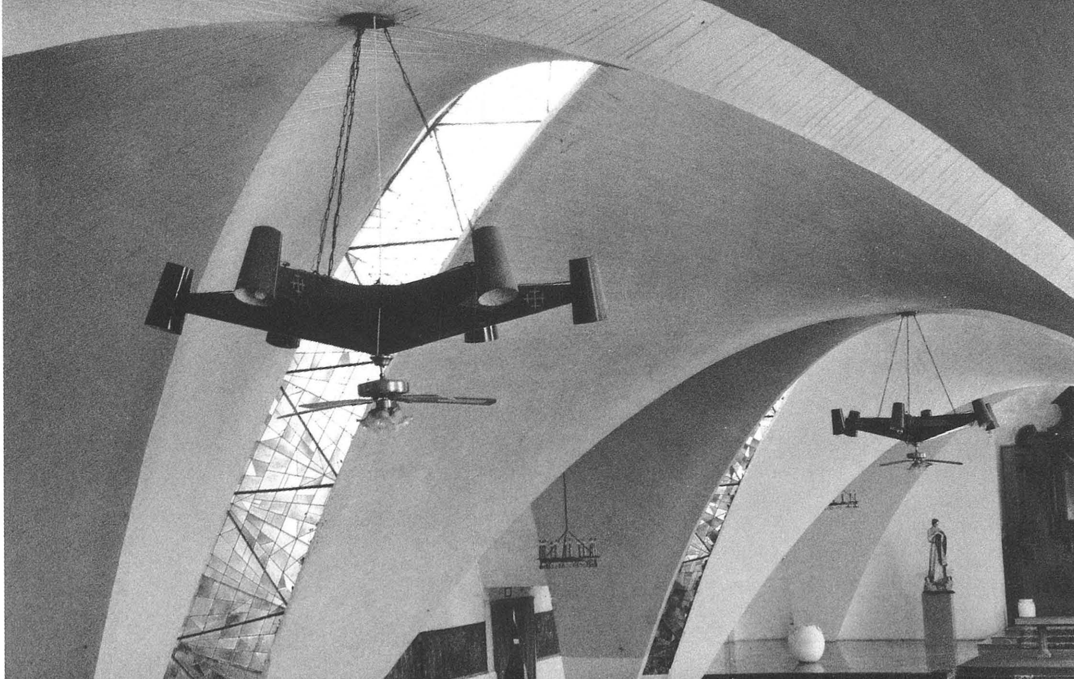




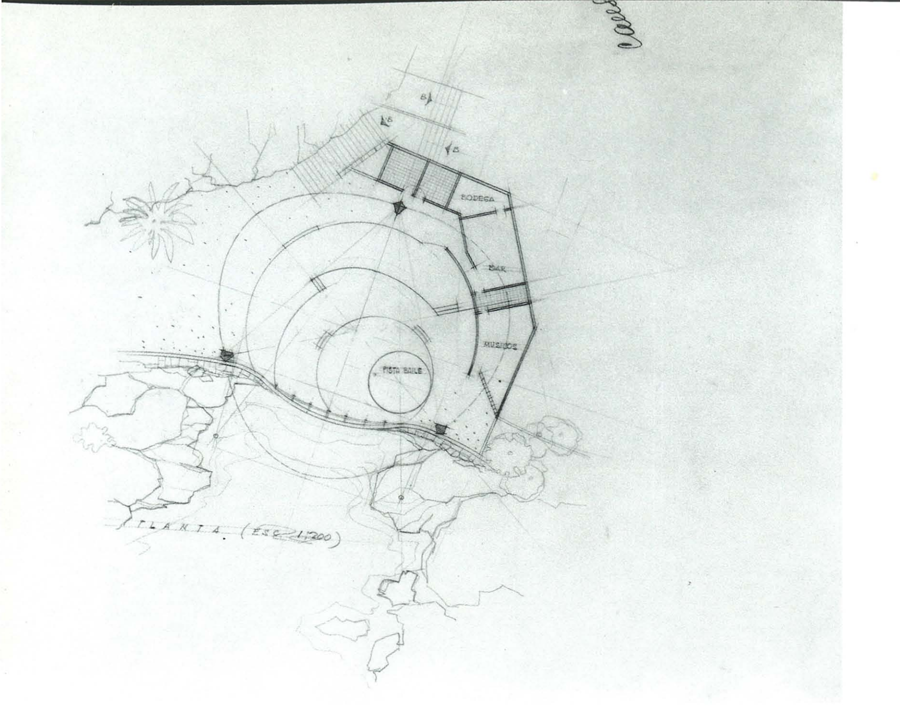
Iglesia de San Antonio de las Huertas. Calzada de México, Tacuba, México D.F., 1956.



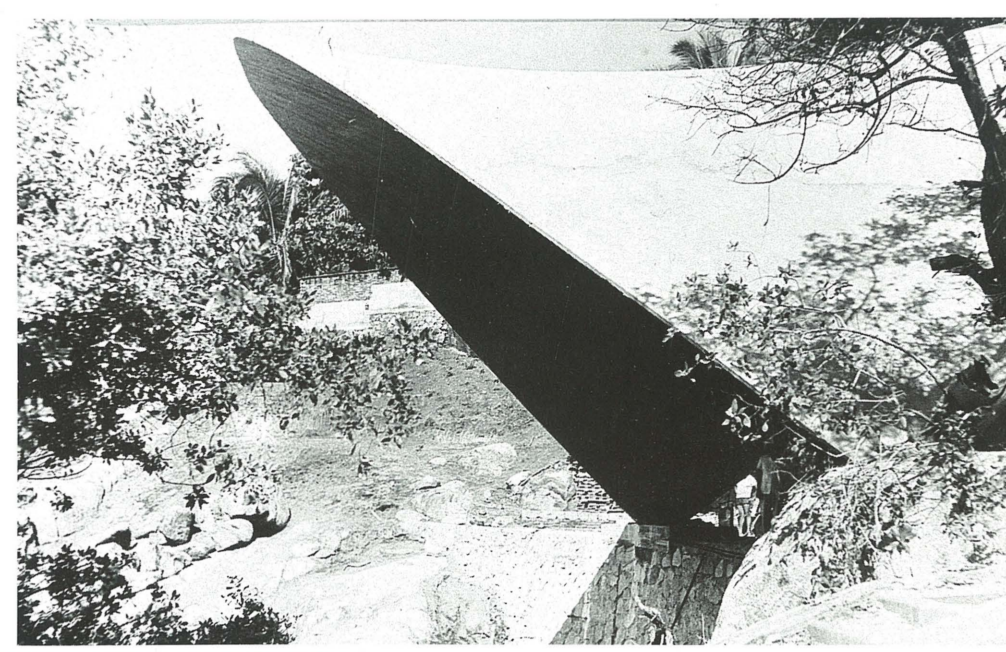


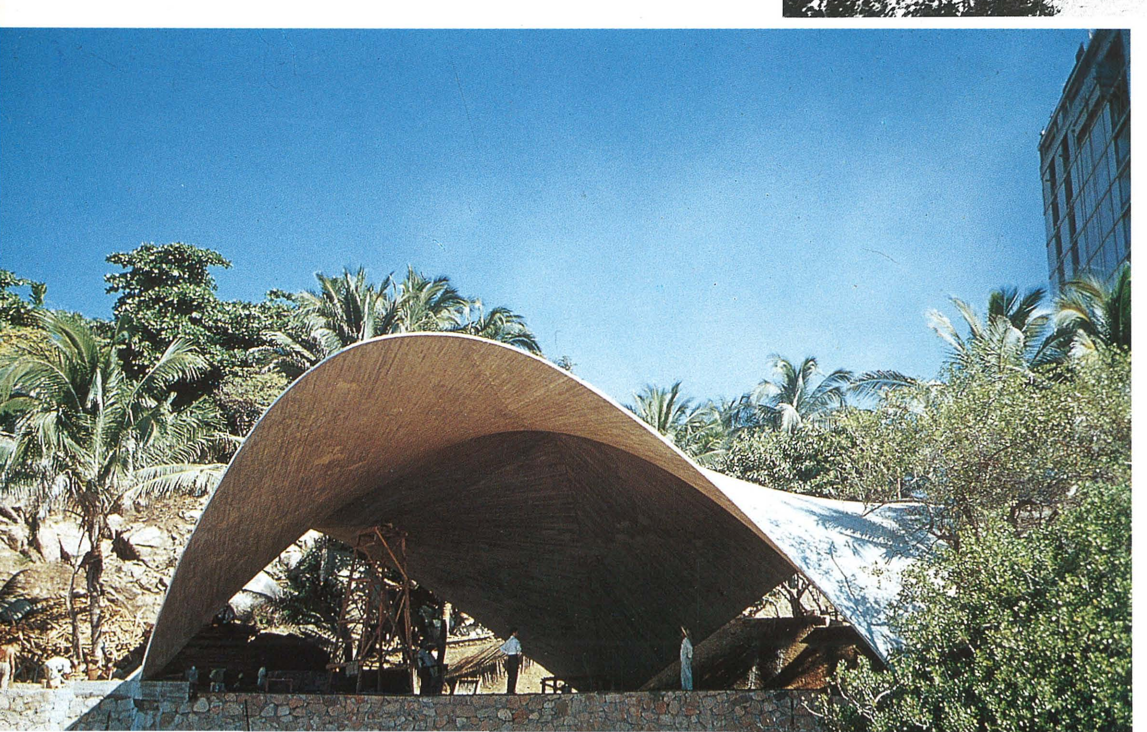


VI

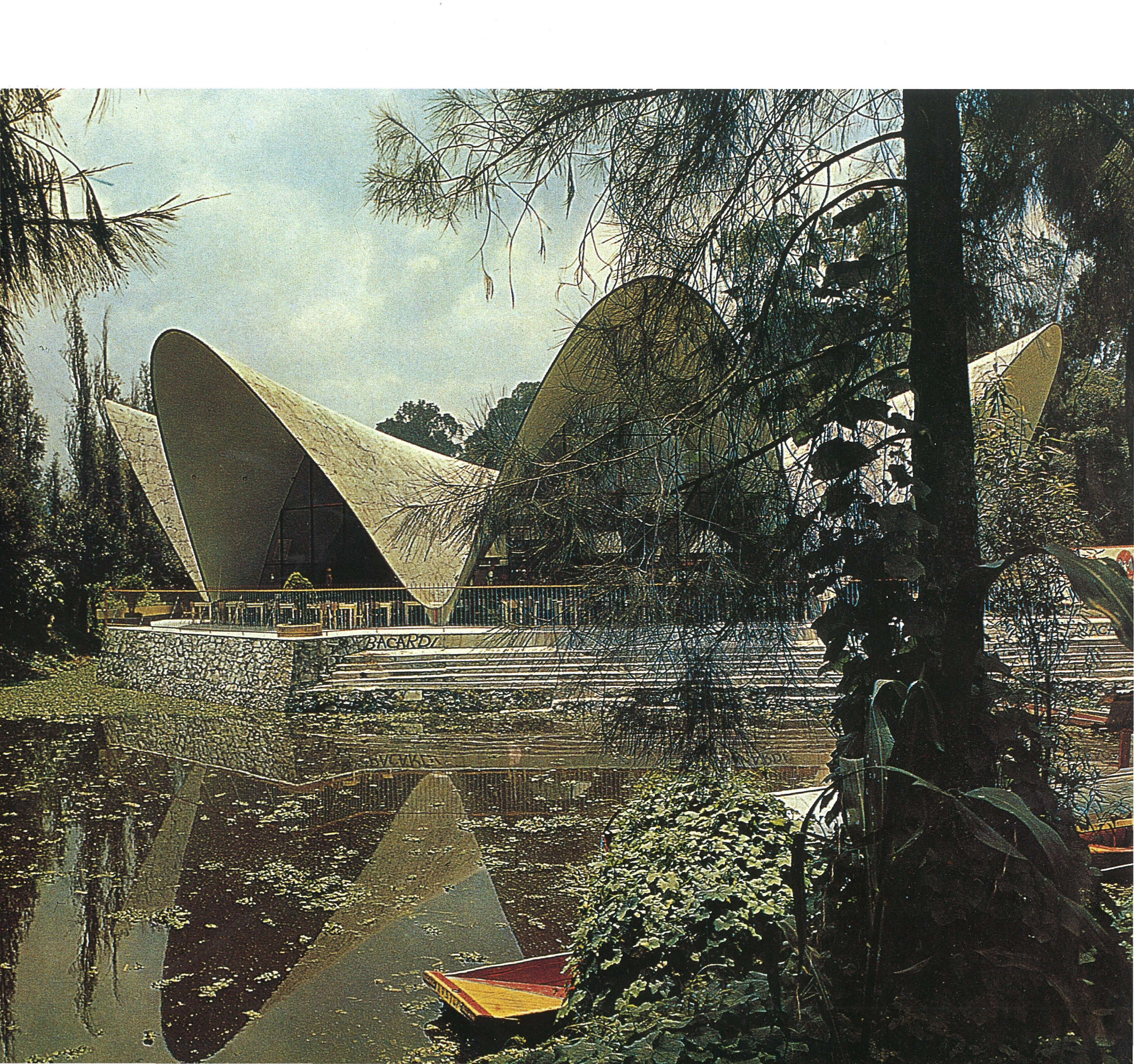


Night Club La Jacaranda. Hotel Presidente,
Acapulco (Guerrero) México, 1957.



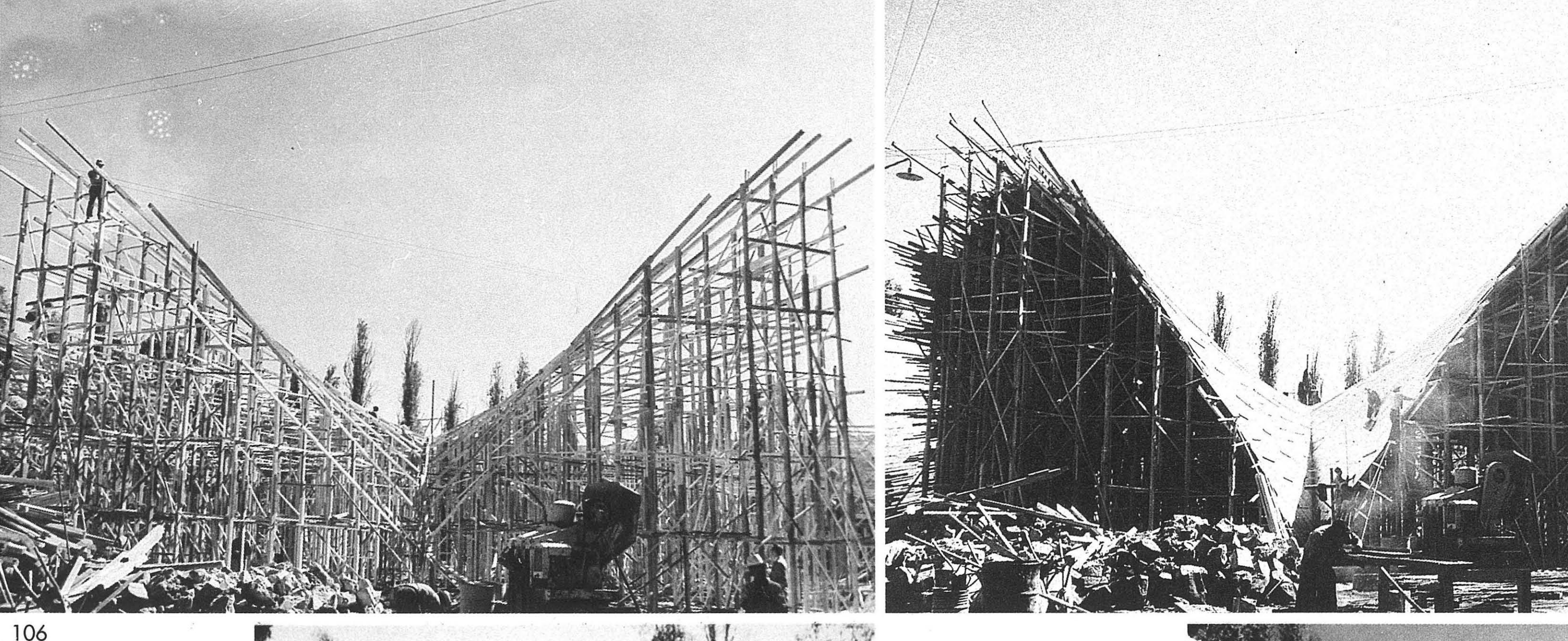


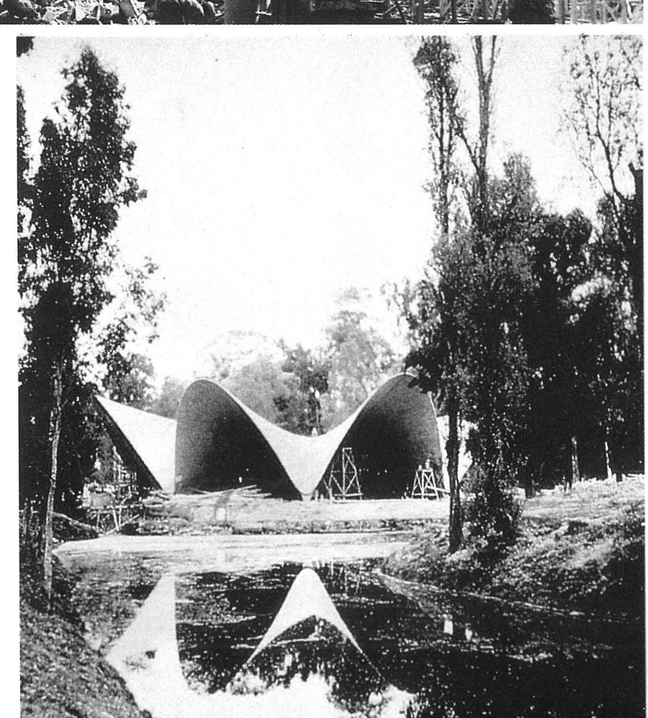
Restaurante Los Manantiales. Xochimilco, México D.F., 1957.

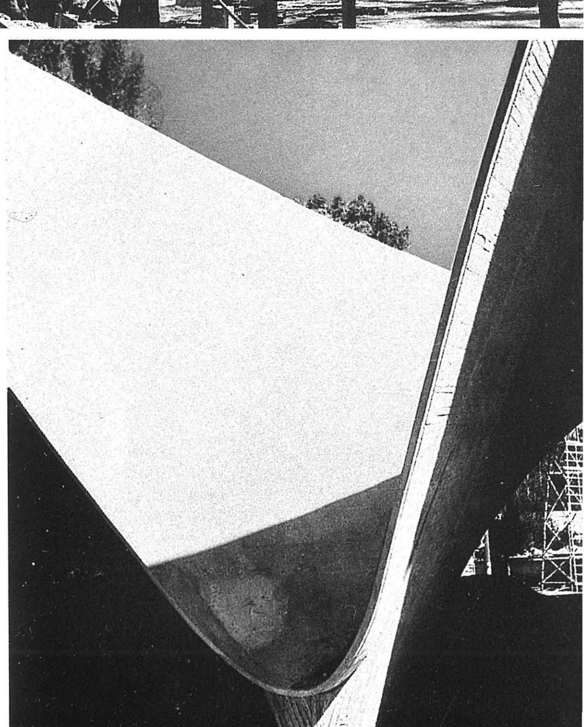


VI

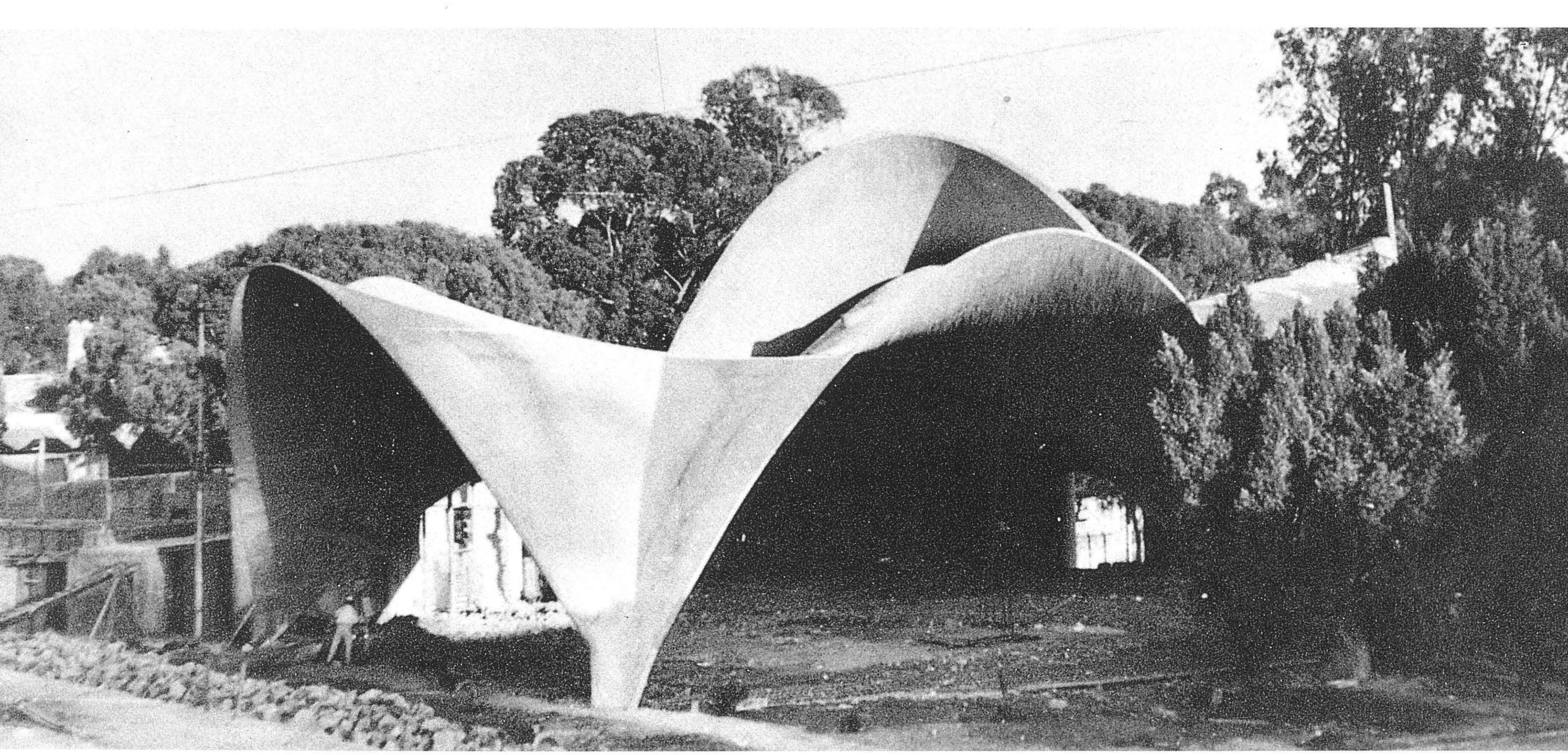
Restaurante Los Manantiales. Xochimilco, México D.F., 1957.



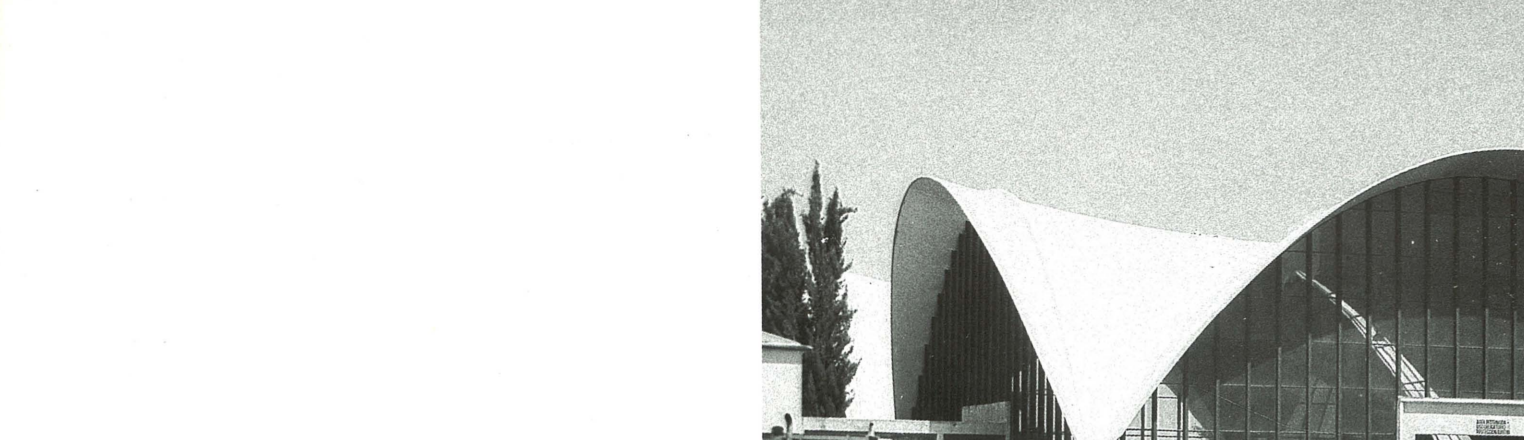




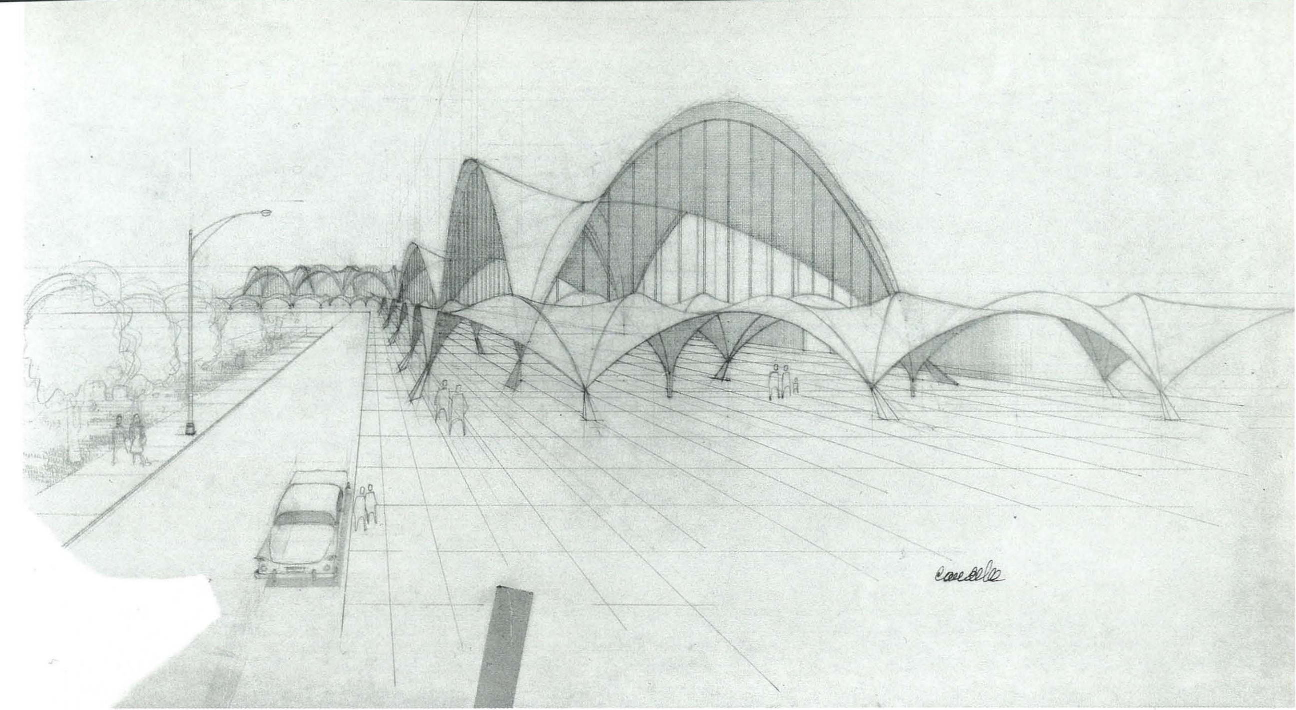
Restaurante y cine en el Hotel Casino de la Selva. Cuernavaca (Morelos), México, 1958.



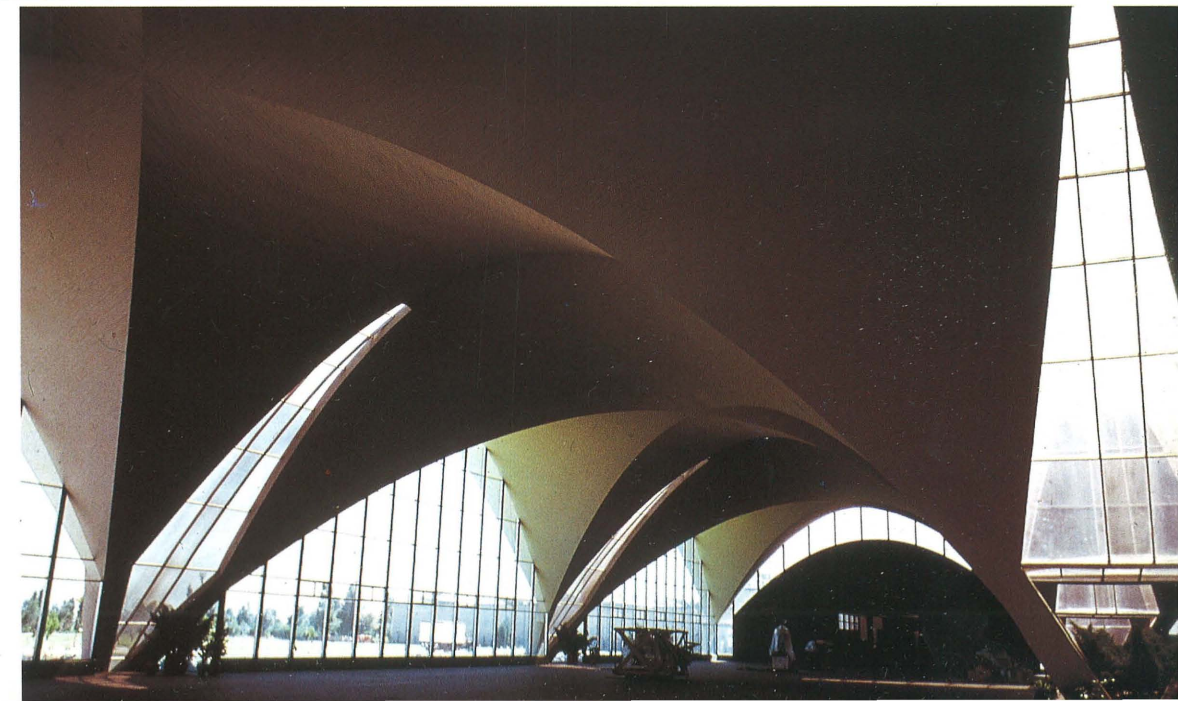
Planta embotelladora Bacardí. Cuautitlán (México), 1960.

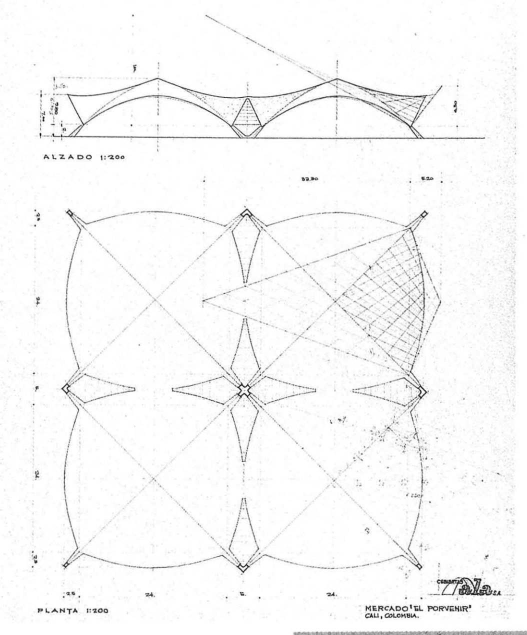


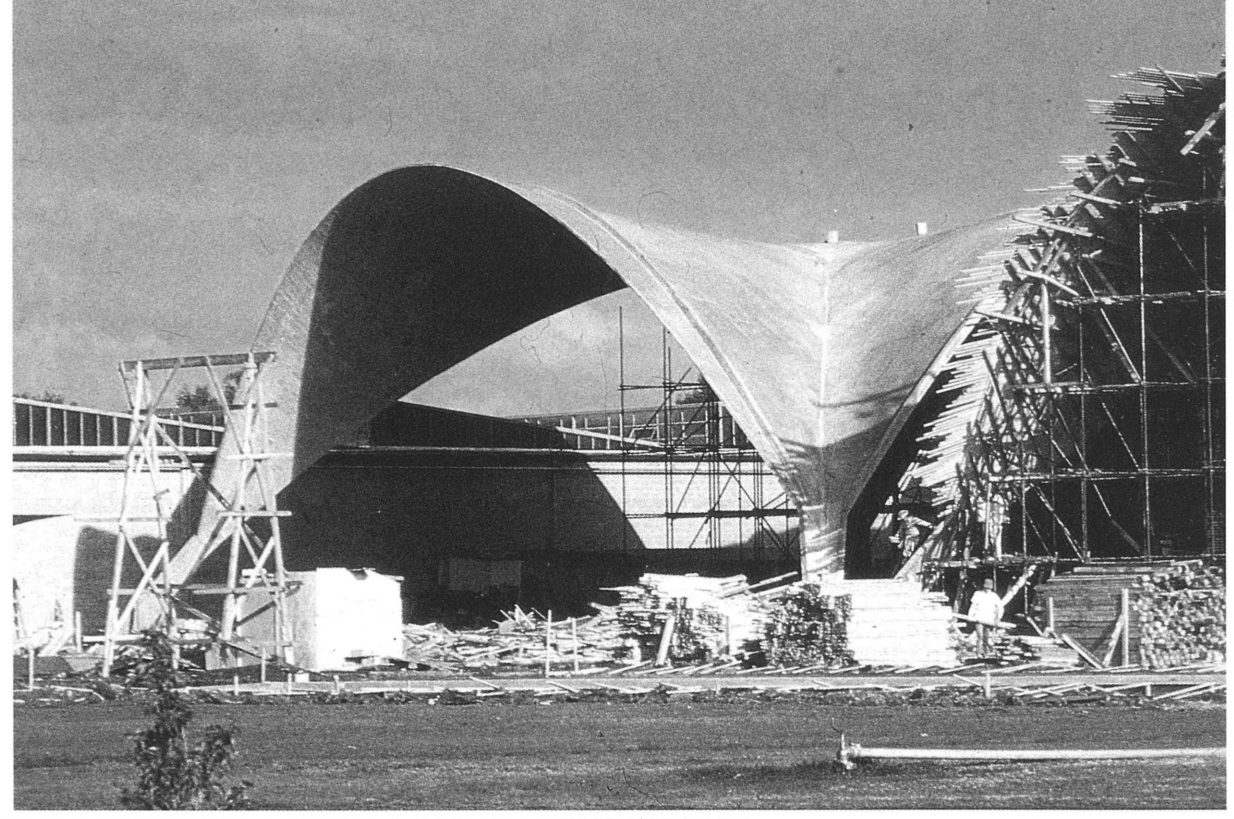

VI





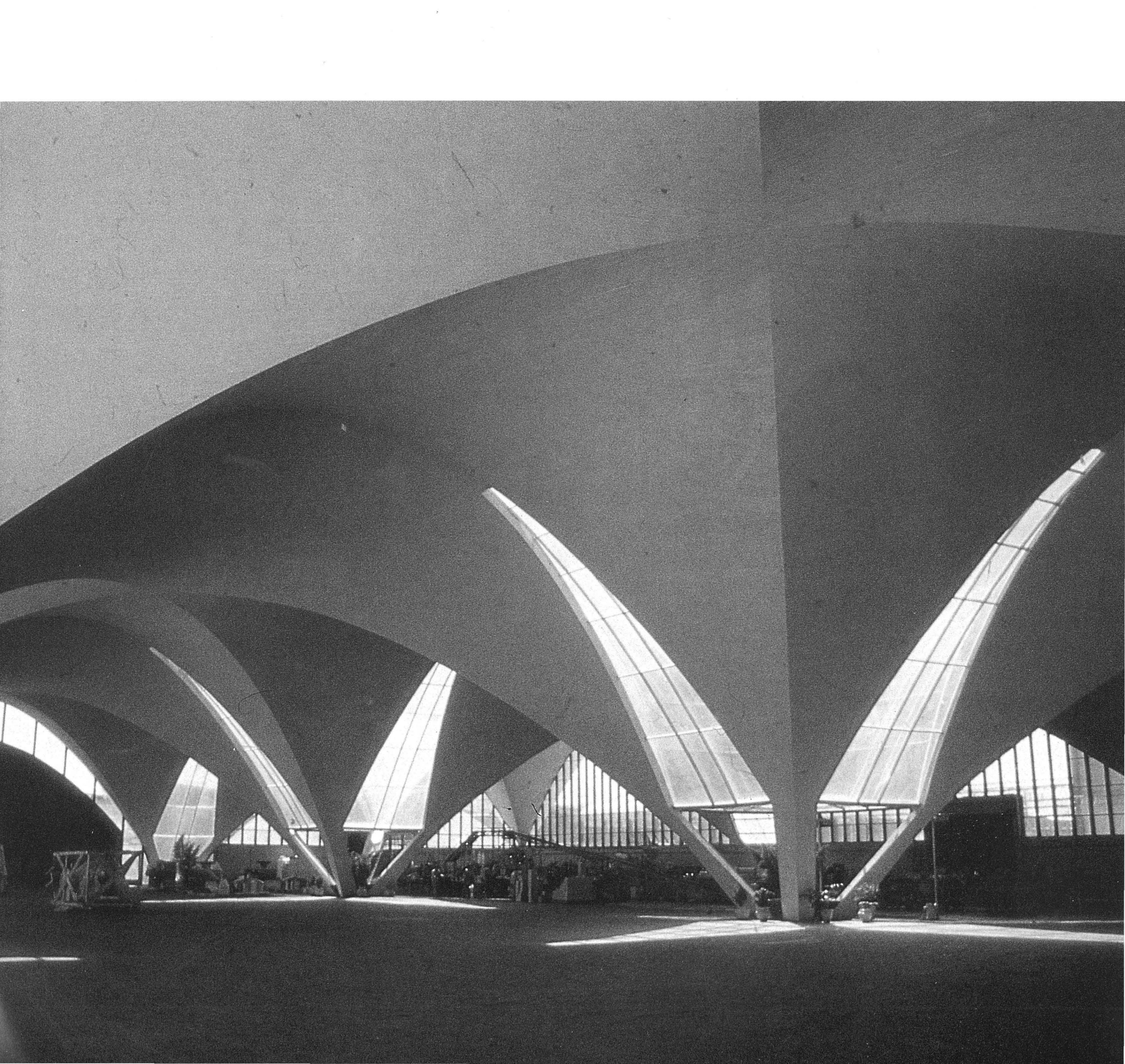



ALZADO 1:200
PLANTA 1:200
MERCADO 'EL PORVENIR'
CALI, COLOMBIA.

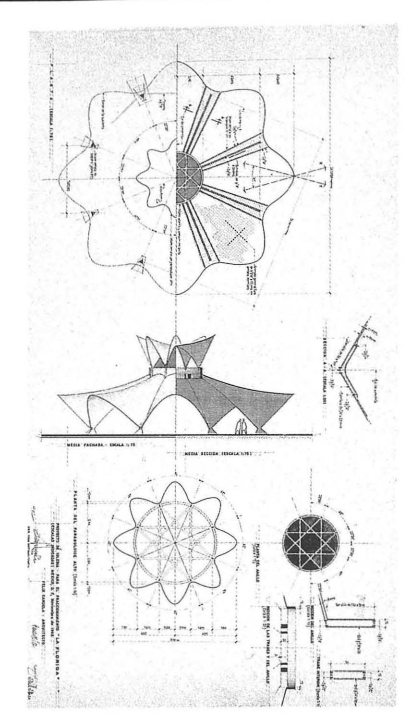



NO FUMAR

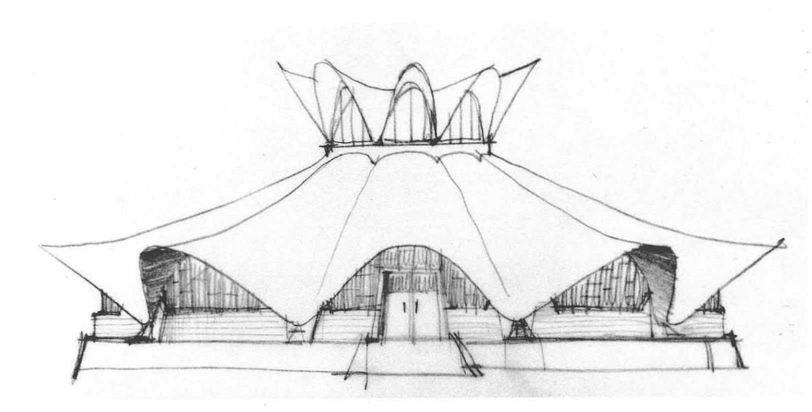
Planta embotelladora Bacardí. Cuautitlán (México), 1960.

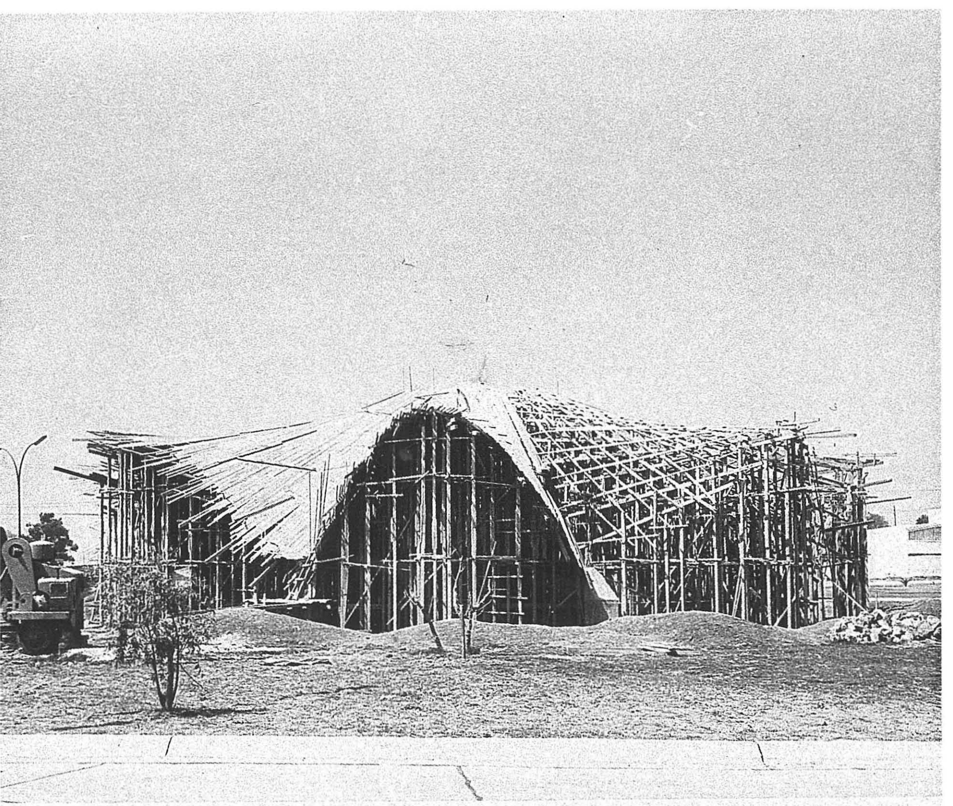


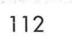


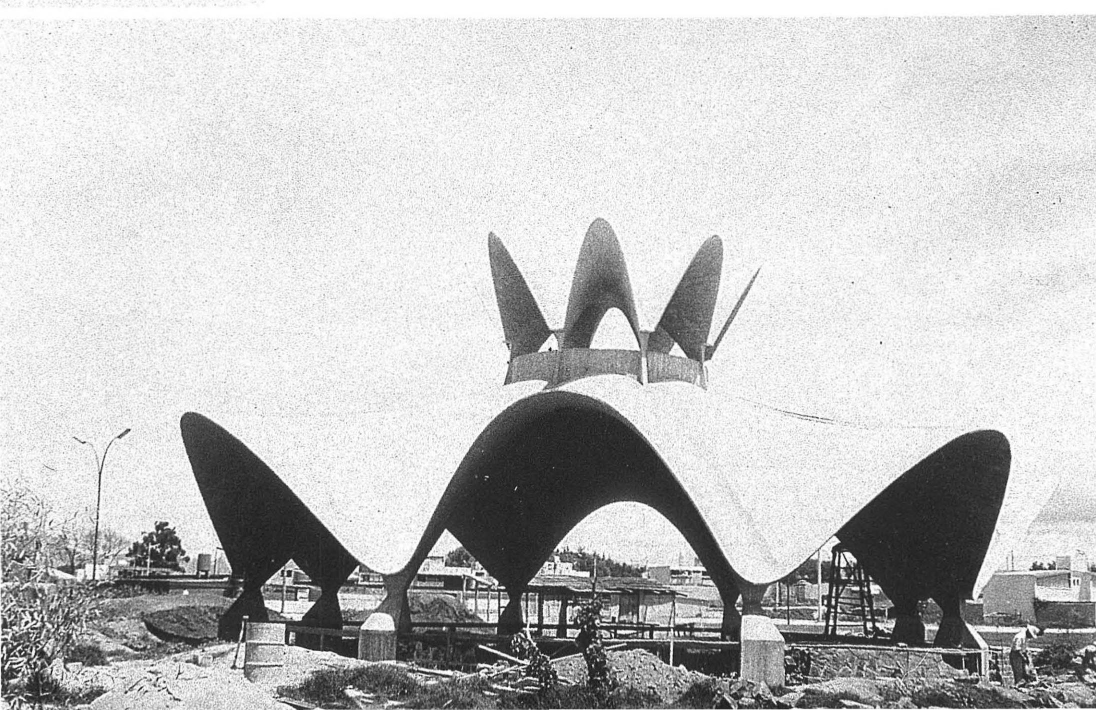


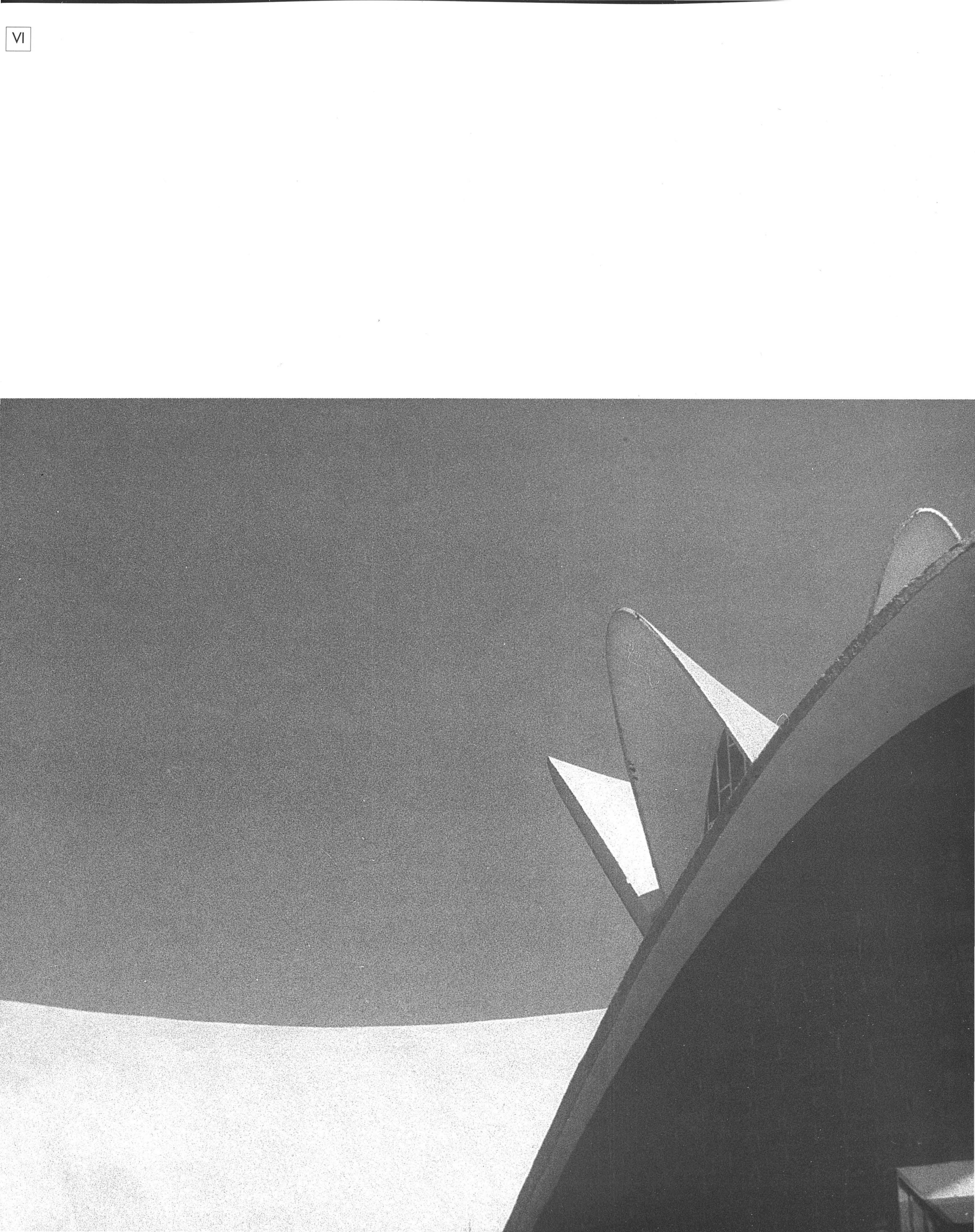
Iglesia en la Colonia La Florida, México D.F., 1966.

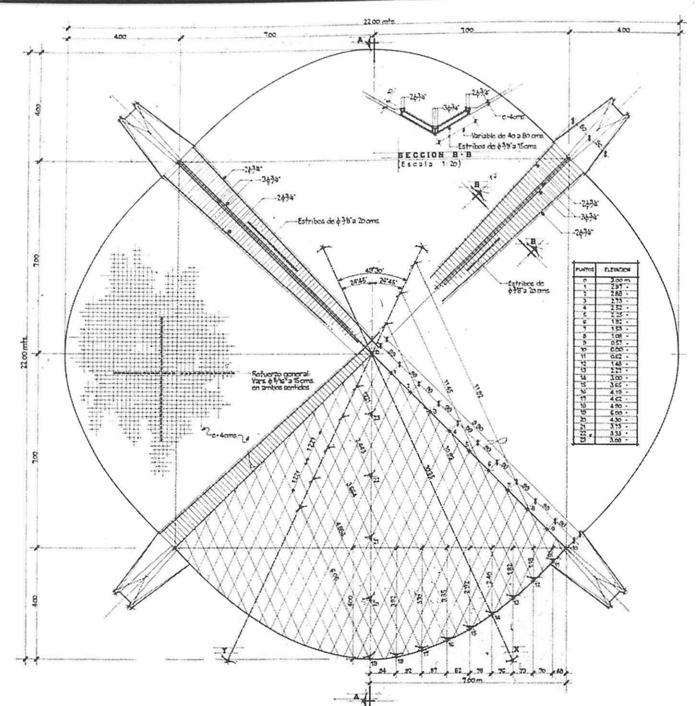




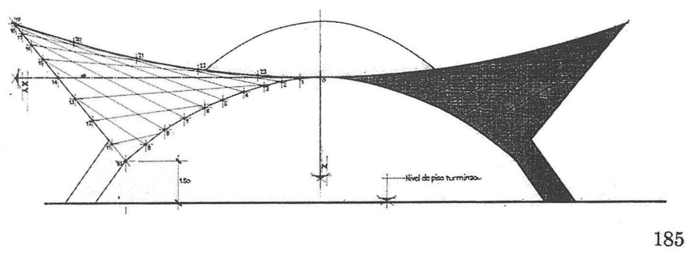


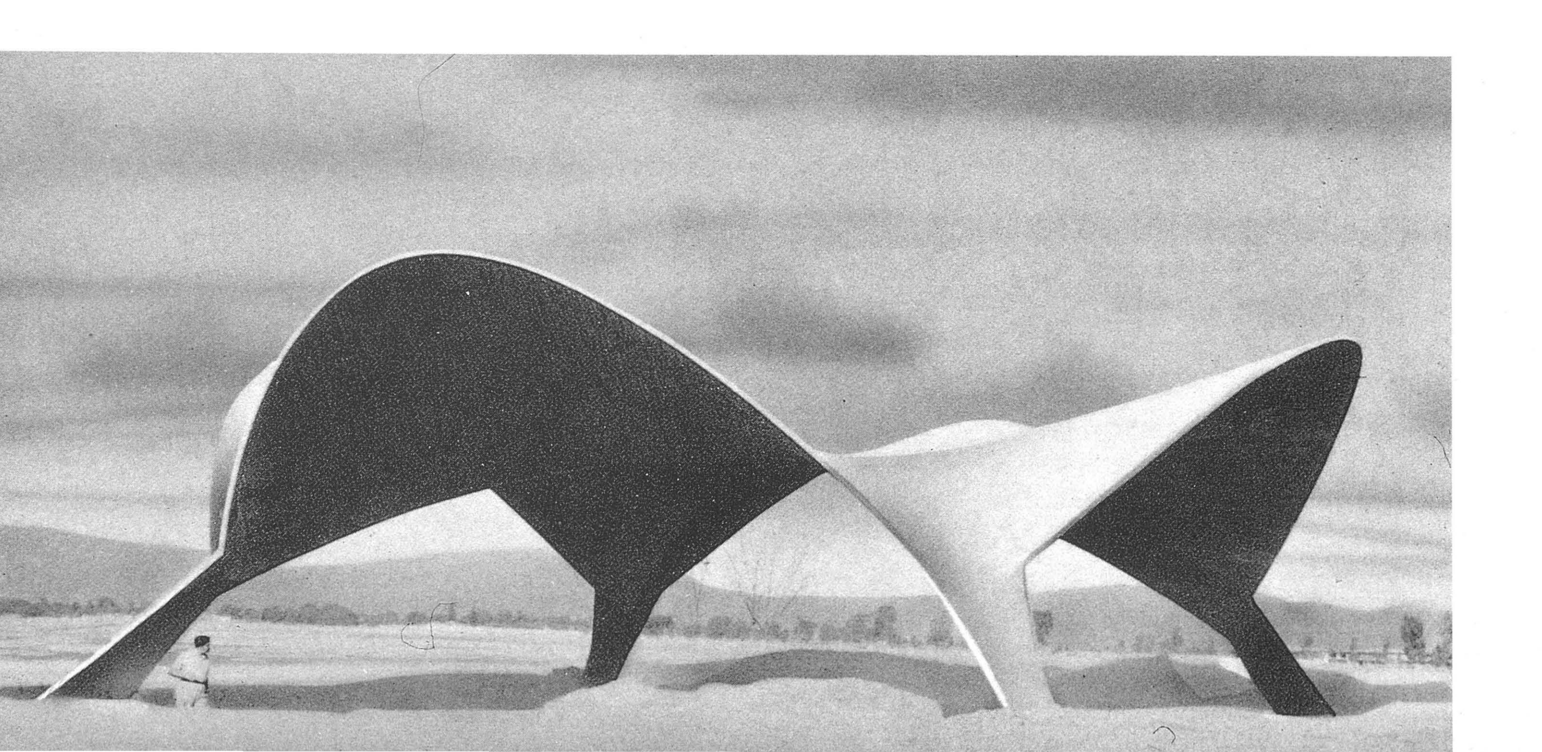






Oficina de Ventas en Guadalajara, México, 1960.



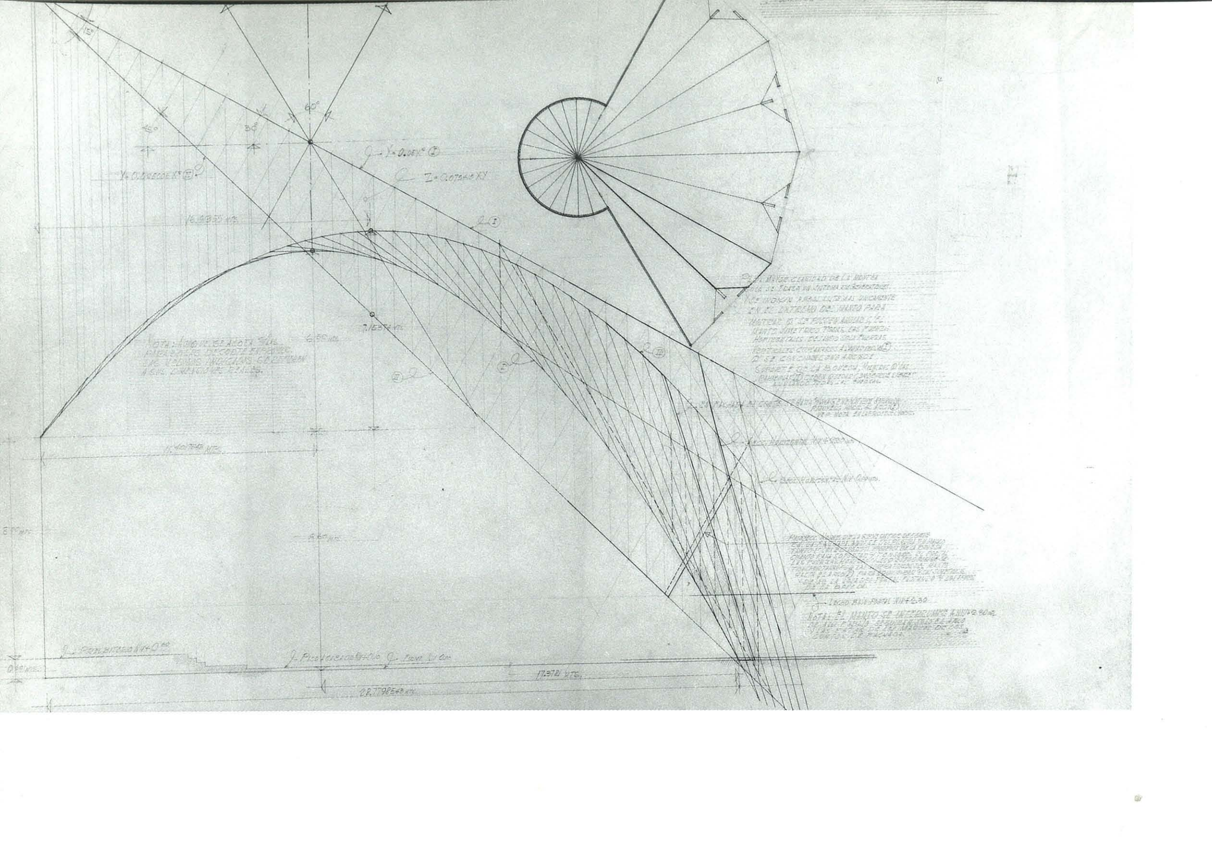


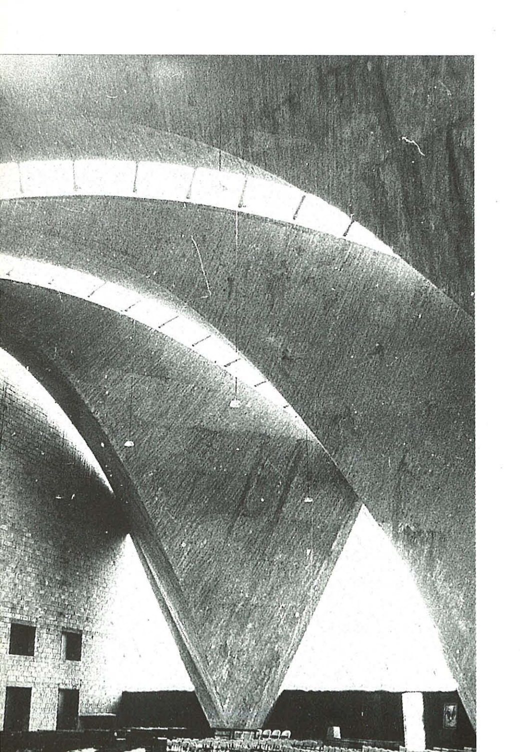
VII OTRAS COMBINACIONES DEL HYPAR

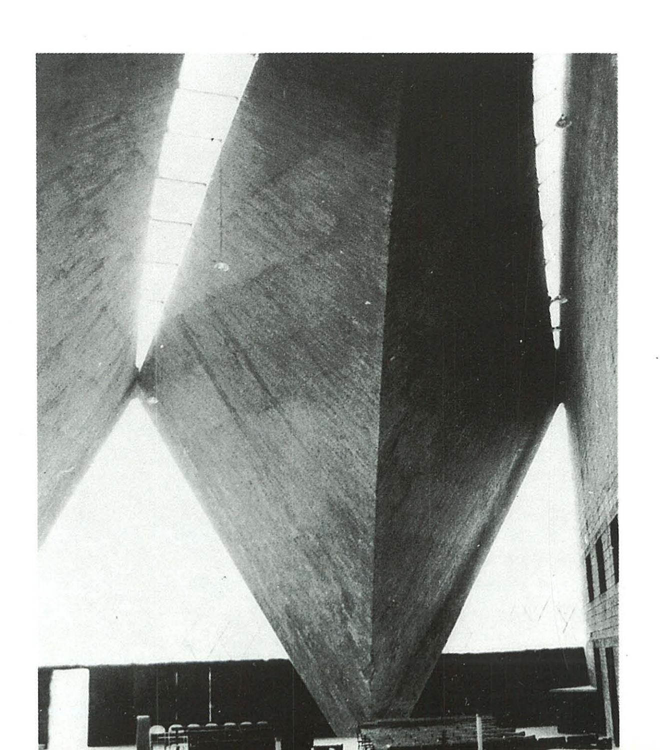
En esta familia encontramos plantas en abanico cubiertas por bóvedas en hypar, techos formados por segmentos de hypar combinados y con bordes horizontales, combinaciones e intersecciones diversas de hypars, etcétera.

Las posibilidades formales del hypar y sus combinaciones para construir cascarones de cubierta son enormes y Candela no deprecia esta posibilidad; al contrario: cambia, investiga y combina constantemente formas construibles.


VII







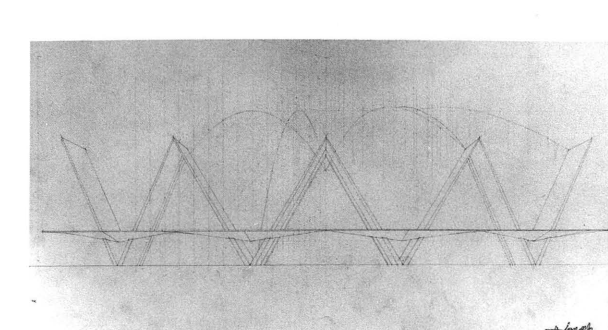


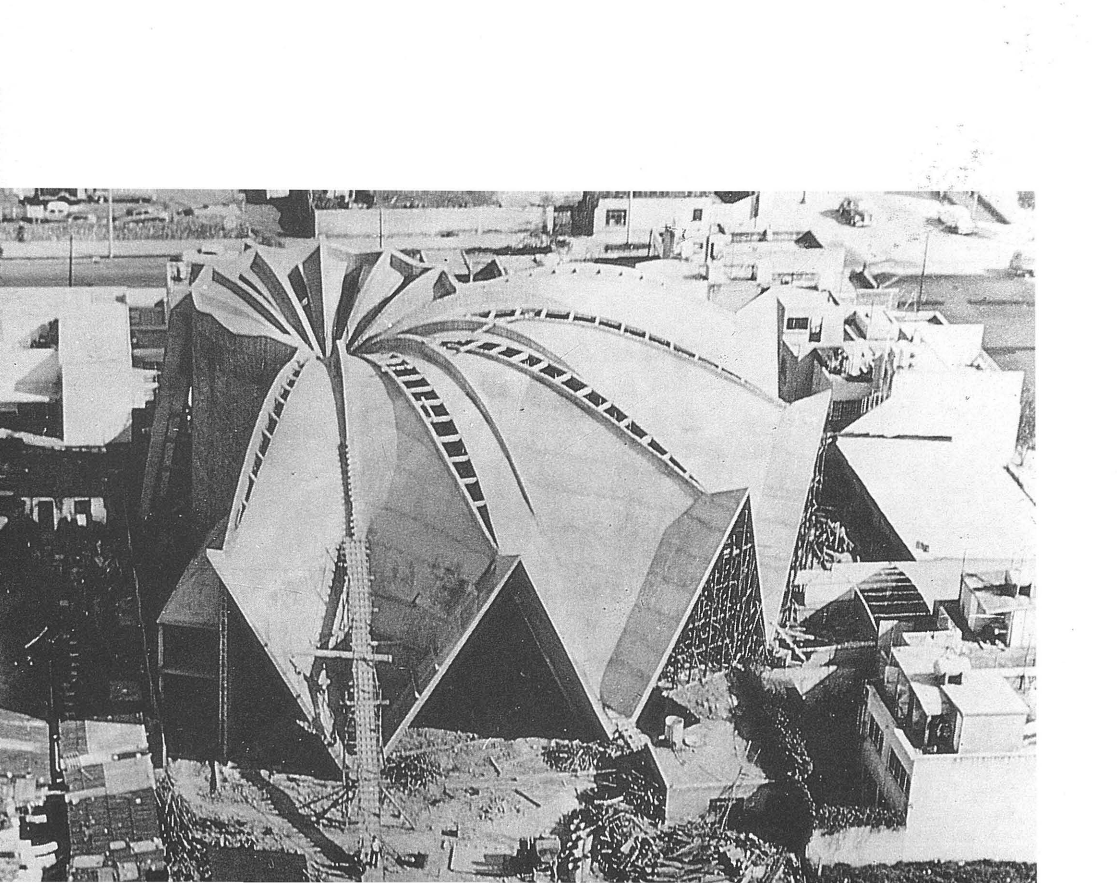
Iglesia de Santa Mónica. San Lorenzo Xochimancas, México D.F., 1960.

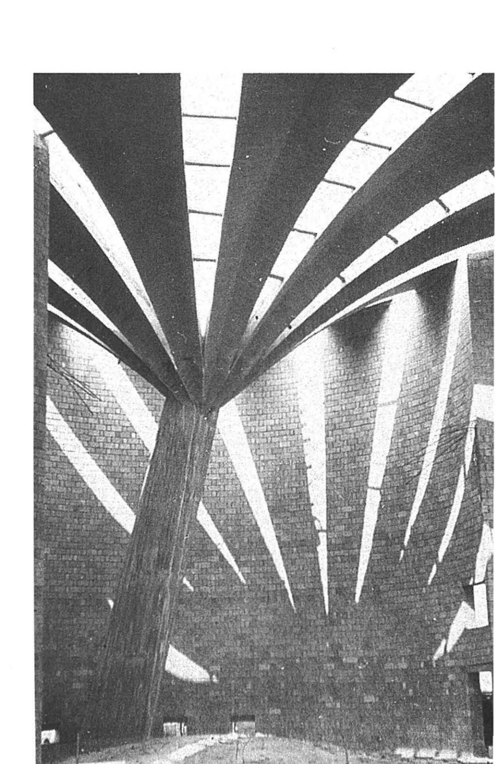




Iglesia de Santa Mónica.





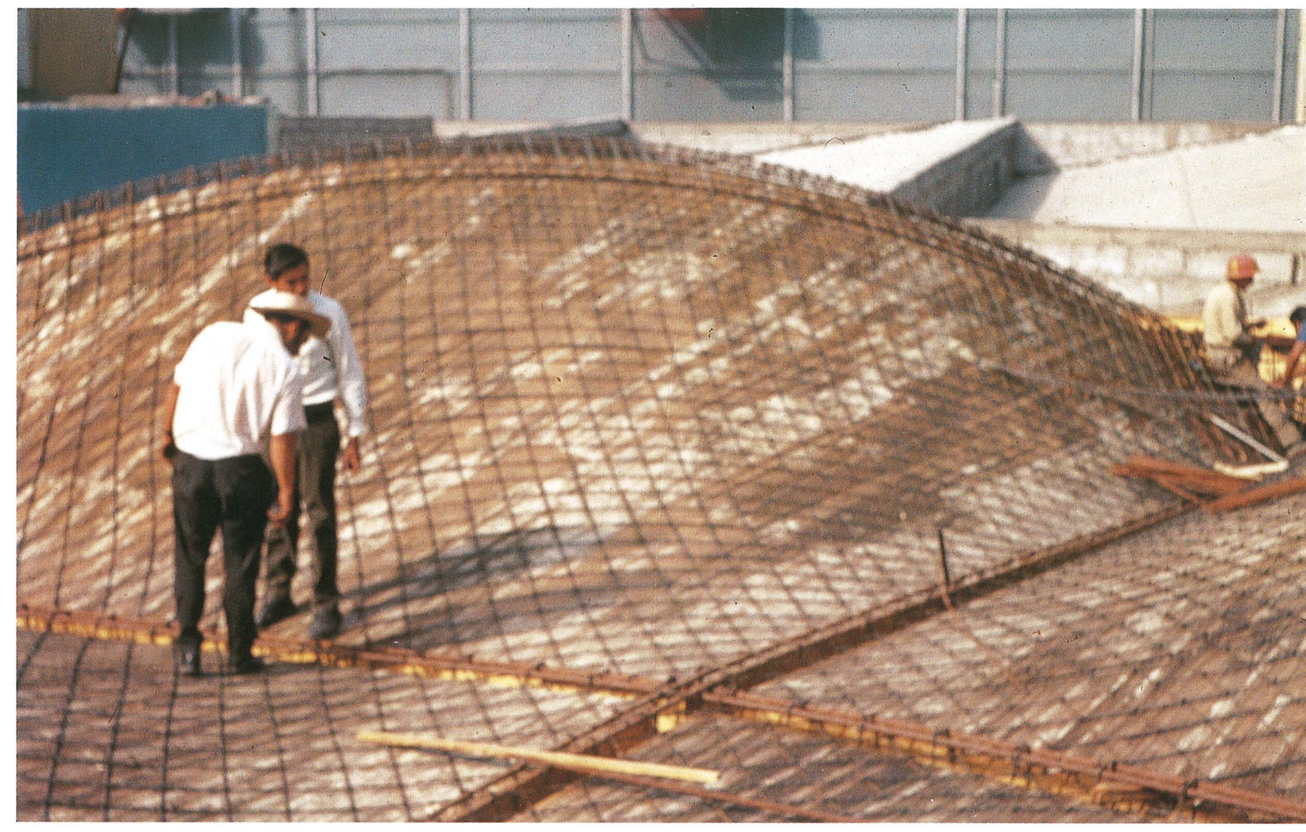




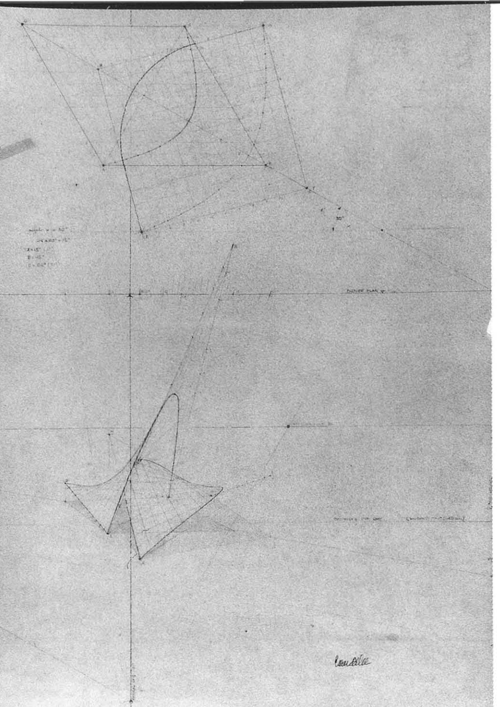
Auditorio para el Instituto Angloamericano de Cultura. México D.F., 1961.

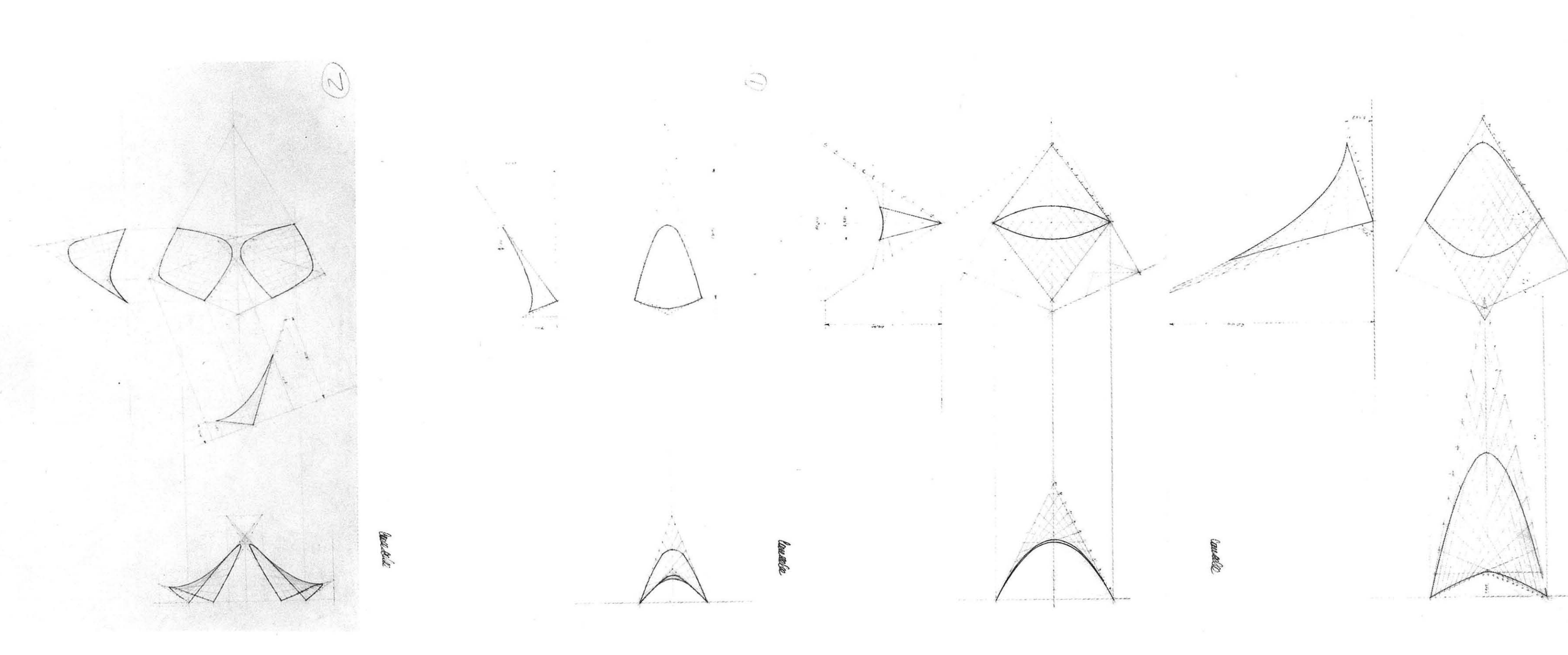


Estación de metro Balderas. México D.F., 1967.

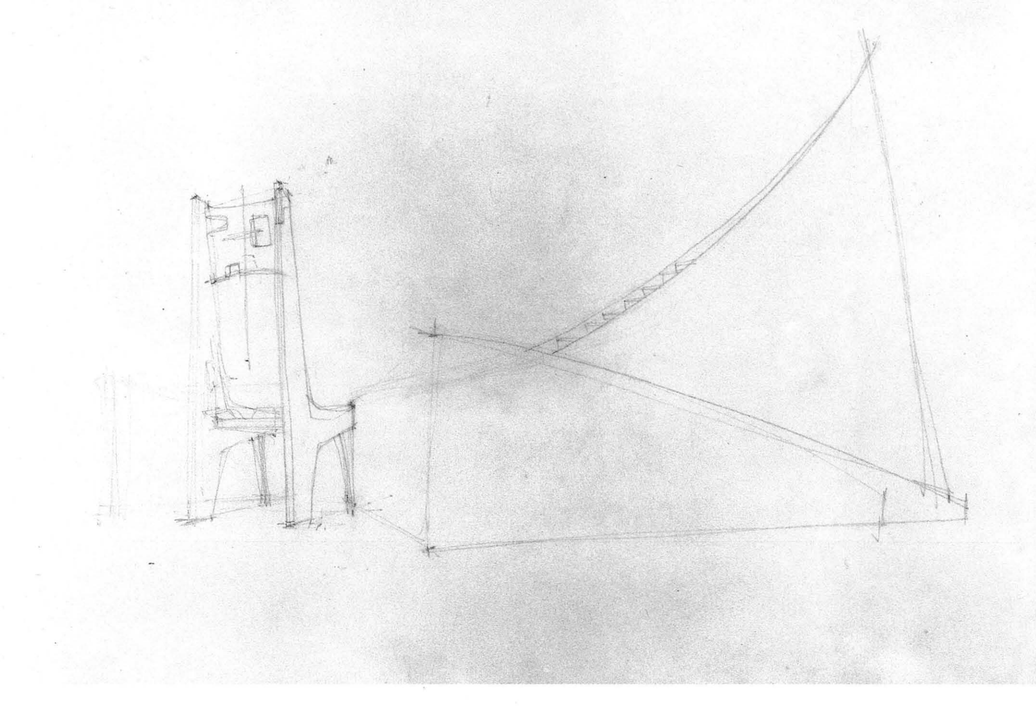


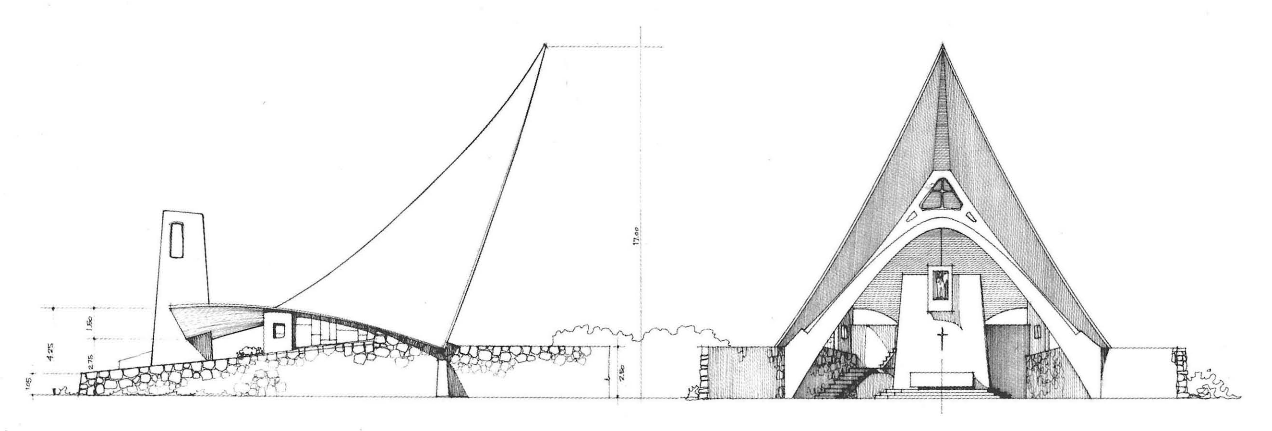

Proyecto para la iglesia de Nuestra Señora del Buen Consejo. Polanco, México D.F.





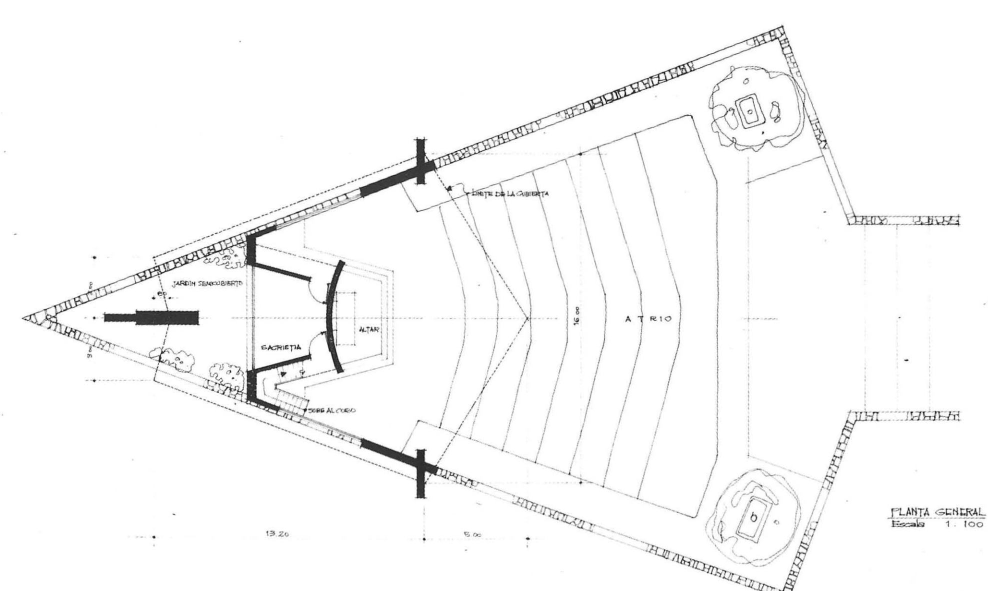
Proyecto para la capilla del Pilar.
San Antonio Xotepingo, México.

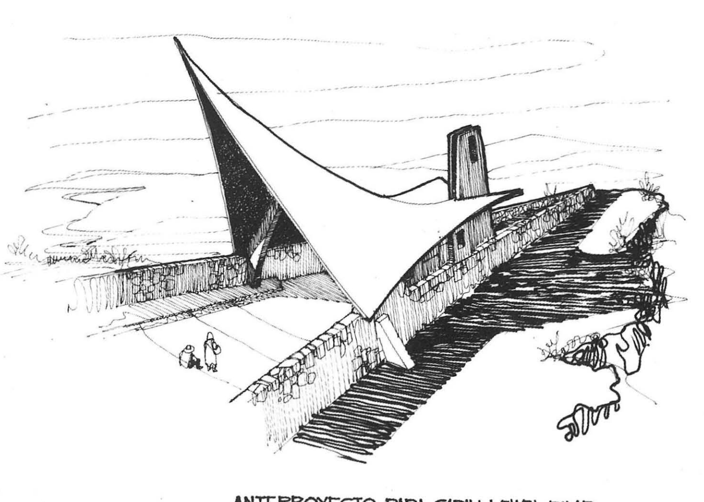




FACHADA LATERAL Esc. 1:100

FACHADA PRINCIPAL Esc. 1:100



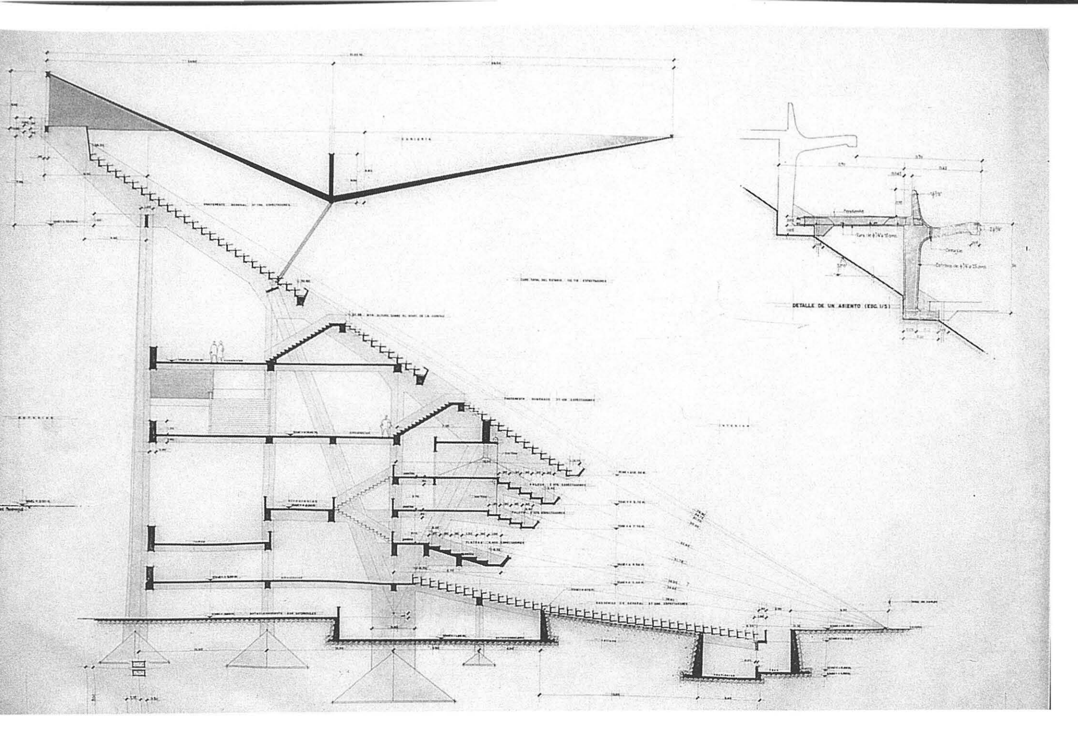


ANTEPROYECTO PARA CAPILLA EN EL PILAR
UBICADA EN EL km 30 de la CARRETERA A TOLUCA. MEXICO D.F. FEB. 1964.
ARQUITECTO FELIX CANDELA

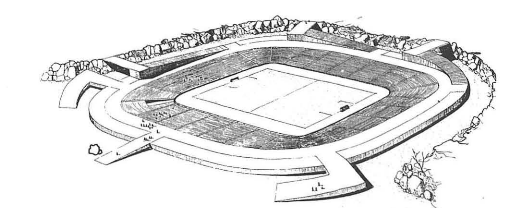
VIII EL CASCARÓN HYPAR COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL SECUNDARIO

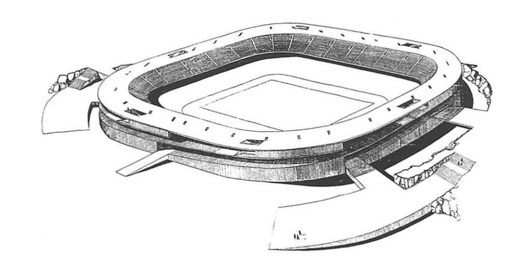
Con la experiencia de más de quince años construyendo cascarones de distintas formas, se pudo definir la luz máxima que puede cubrirse, de manera sensata, con un cascarón de hormigón armado. Este límite está en torno a los 30 m. Para mayores luces aumentan el costo del encofrado y del volumen interno, así como el peligro de pandeo al tener que disminuir la curvatura. Los cálculos se vuelven más largos y dificultosos, pues no se pueden despreciar las deformaciones, y los cálculos de esfuerzos de membrana no son, por tanto, de fiar. Es preferible utilizar estructuras convencionales para cubiertas mayores y utilizar los cascarones como elementos secundarios que rellenen los espacios entre la trama principal.

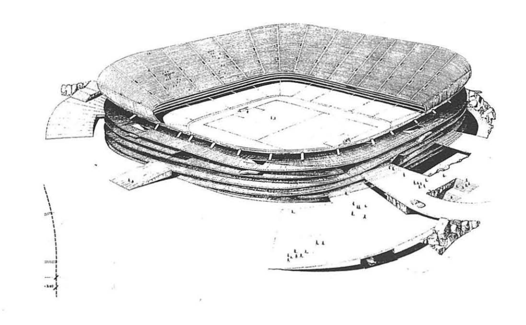


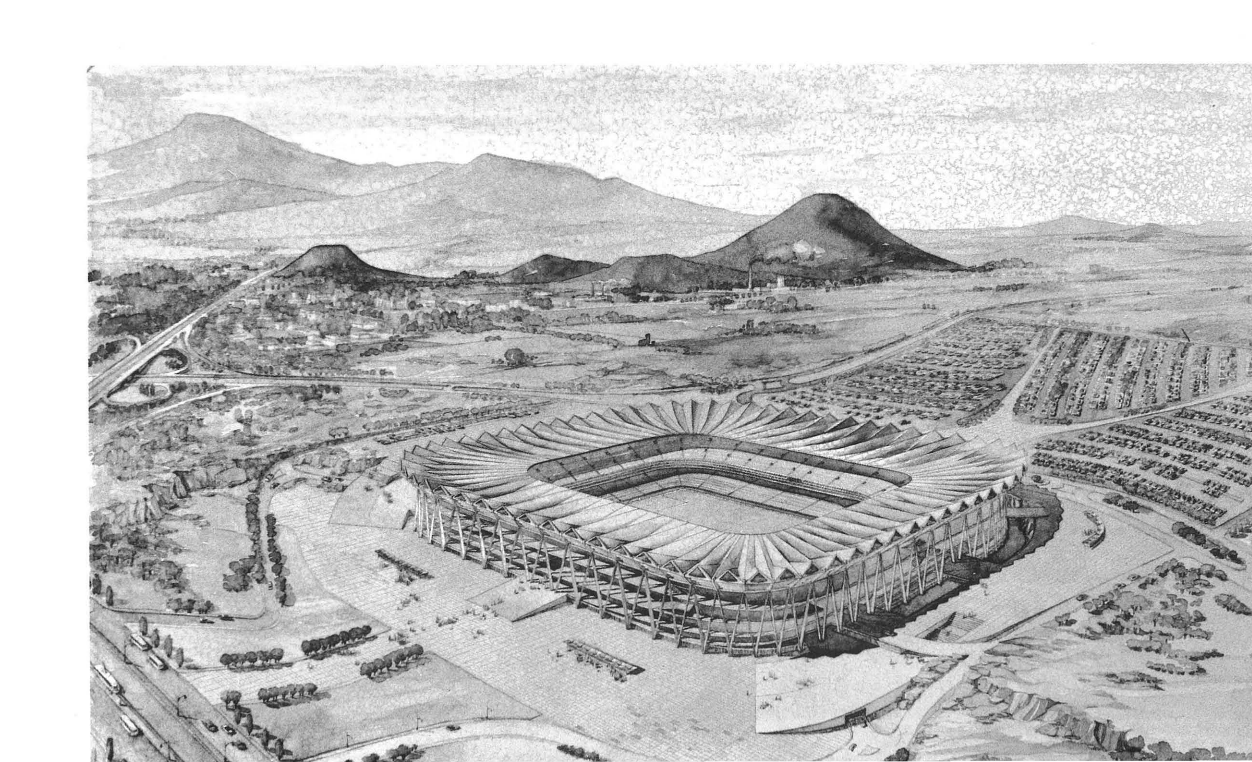


Estadio de fútbol.
Calzada de Tlalpam, México D.F., 1960.



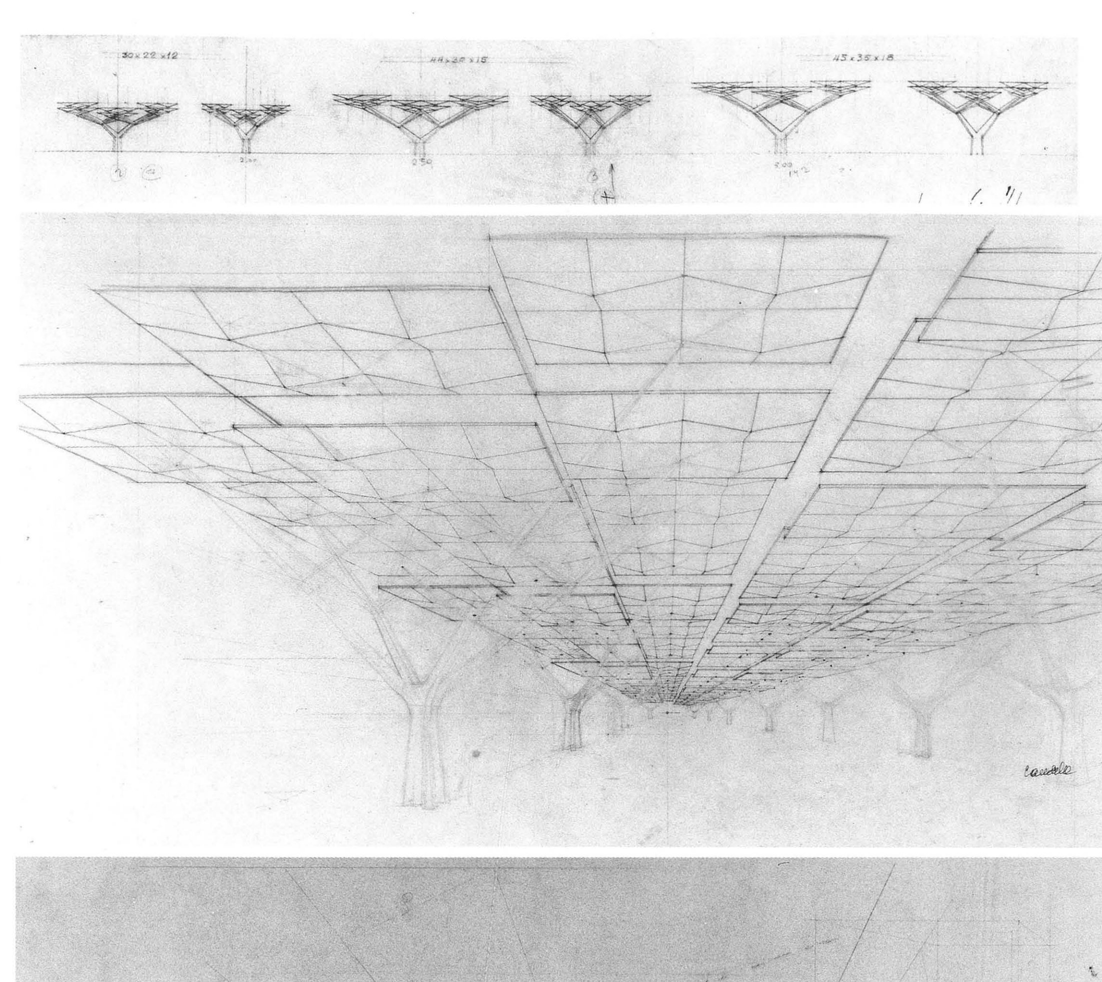


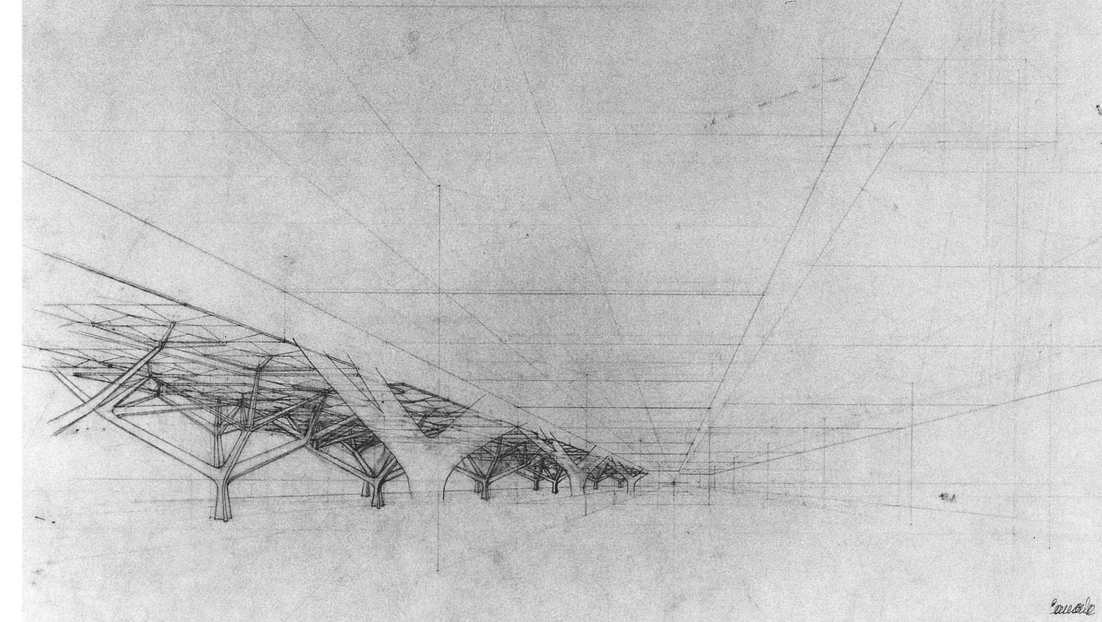




VIII

Salón de exposiciones para el Cristal Palace de Londres y para el Palacio de los Deportes de México. México, 1964-66.





Tras ganar el concurso previo, el equipo formado por Félix Candela, Enrique Castañeda y Antonio Peirí redactó el proyecto de ejecución y construyó este edificio en tan sólo dieciocho meses. El programa pedía un estadio cubierto para 22.000 espectadores, con un campo de juego de 80 m de diámetro y una altura mínima en el centro de 40 m.

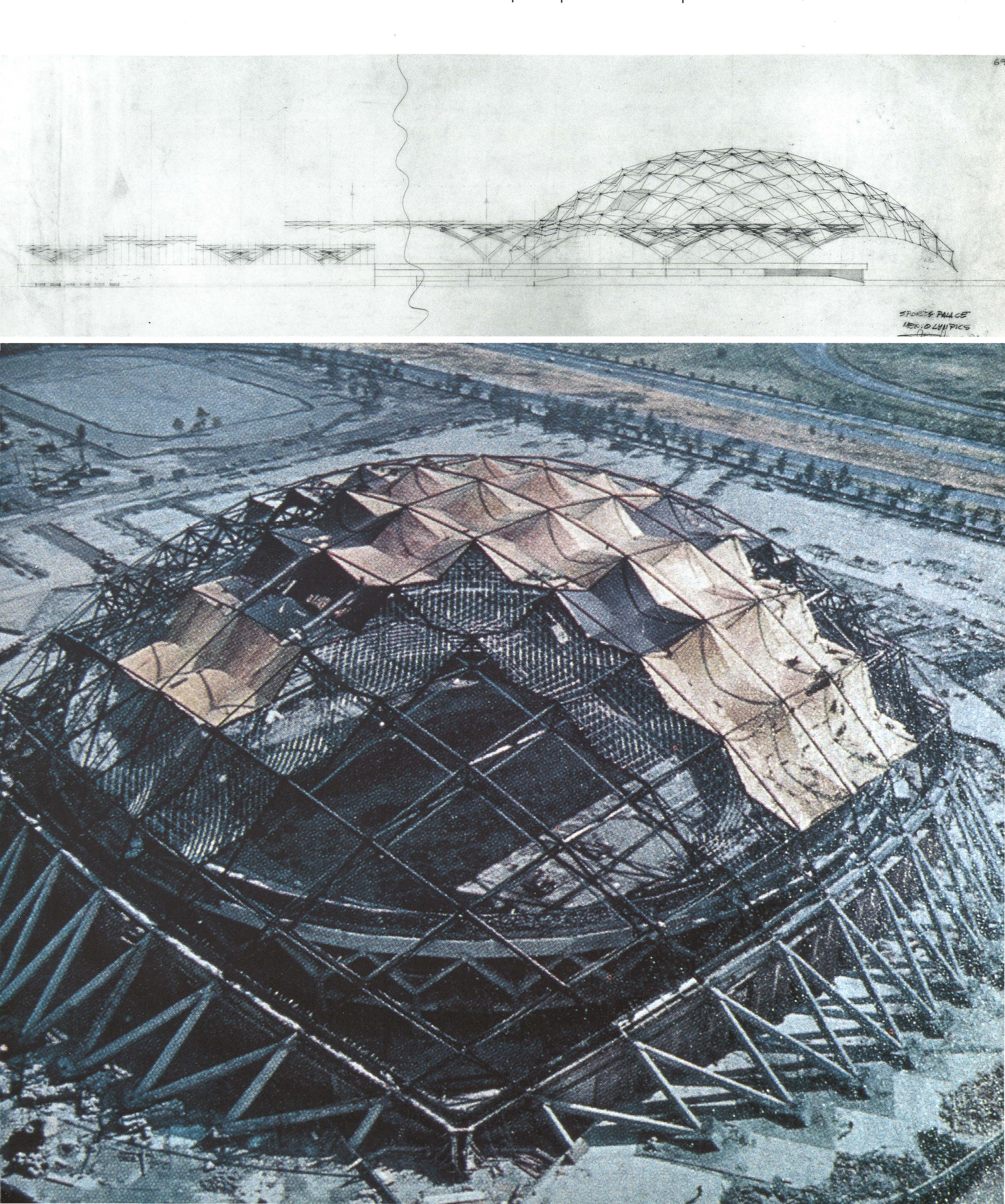
La planta es un cuadrángulo esférico con una luz de 132 m en la dirección más corta y 190 m según sus diagonales. Los accesos para el público y los servicios se realizan a distintos niveles, evitando interferencias de circulación.

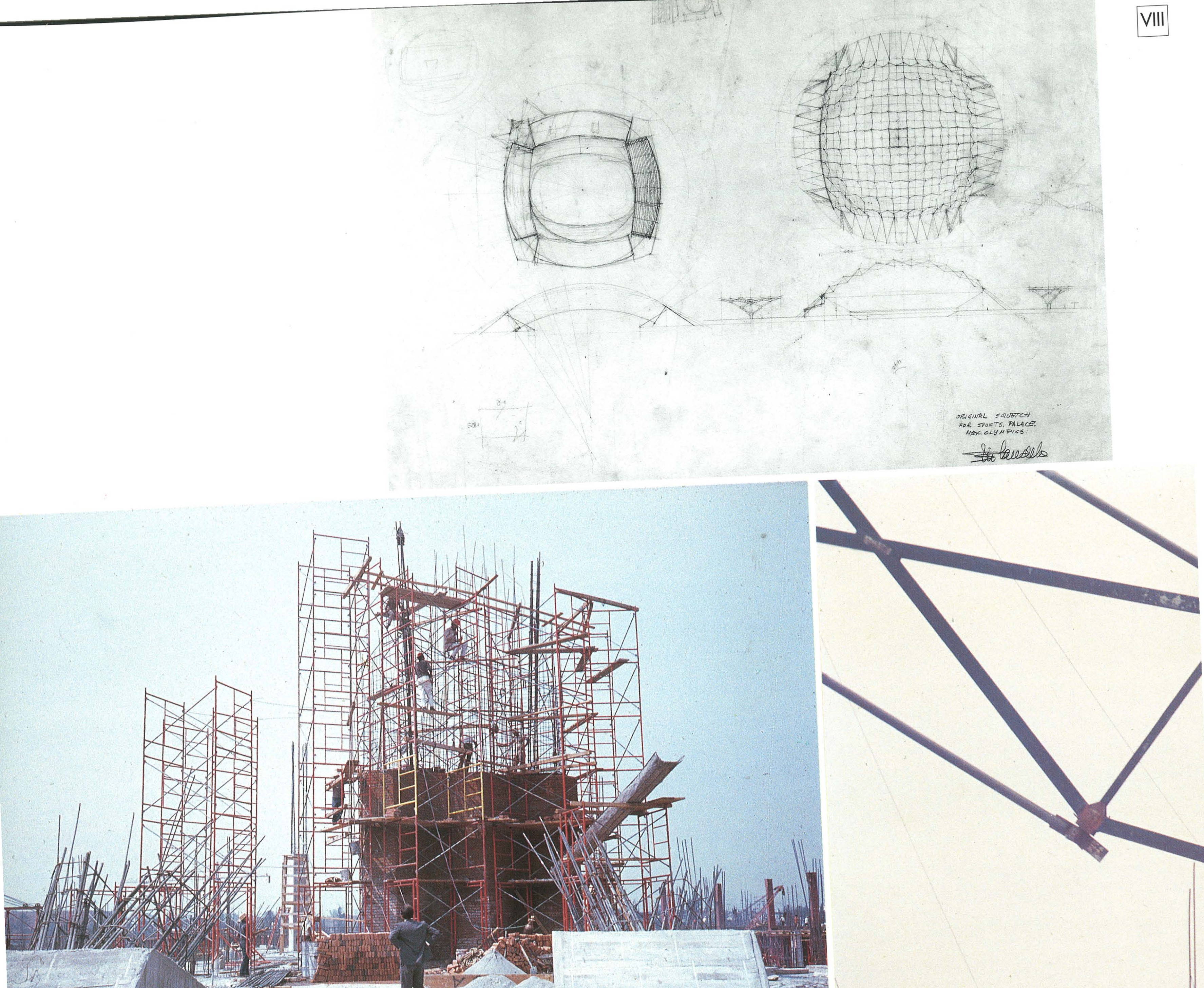
La cubierta es una cúpula esférica, subdividida por dos sistemas de arcos de acero. Cada sistema está compuesto por once arcos que siguen círculos máximos o meridianos de una esfera cuyos ejes polares son horizontales y se cruzan a 90 grados, los arcos se apoyan en muros de ladrillo y arbotantes de hormigón que se triangulan en todas direcciones para asegurar la rigidez del conjunto; los espacios entre los arcos se cubren con paneles triangulados de aluminio en forma de hypar, que se completan con una doble capa de plywood, impermeabilizada con fieltro asfáltico y rematada por planchas de cobre de 30 x120 cm. En su día fue la mayor cubierta de cobre del mundo, con más de 20.000 m^2 de superficie.

La insólita triangulación de los arcos responde a la decisión de proyecto de hacerlos compatibles con los cascarones de relleno. La compresión del acero se distribuye a través de los elementos diagonales con sección en H. Los miembros radiales trabajan a tracción, evitando el pliegue del arco. Las correas superior e inferior son tubos de acero que, trabajando a tracción, pueden tomar los posibles momentos (positivos o negativos) que las cargas vivas produzcan.

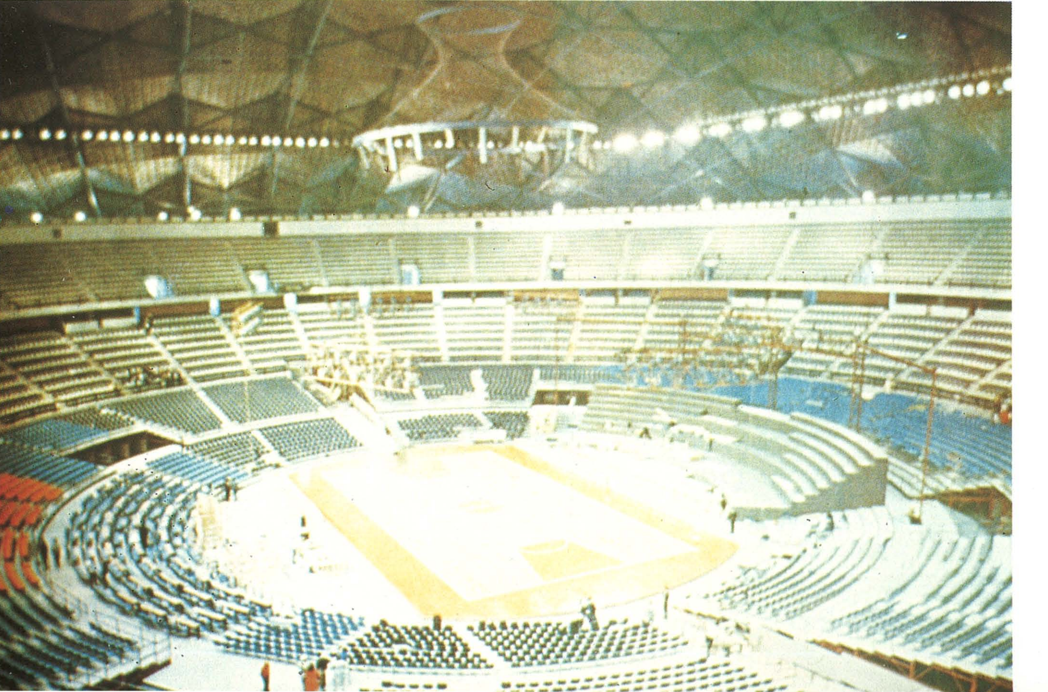
La principal característica de esta estructura es que transmite las cargas lo más directamente posible al terreno, reduciendo muchísimo la superficie proporcional de fachada e influyendo enormemente, además, en la economía del proyecto.

Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.

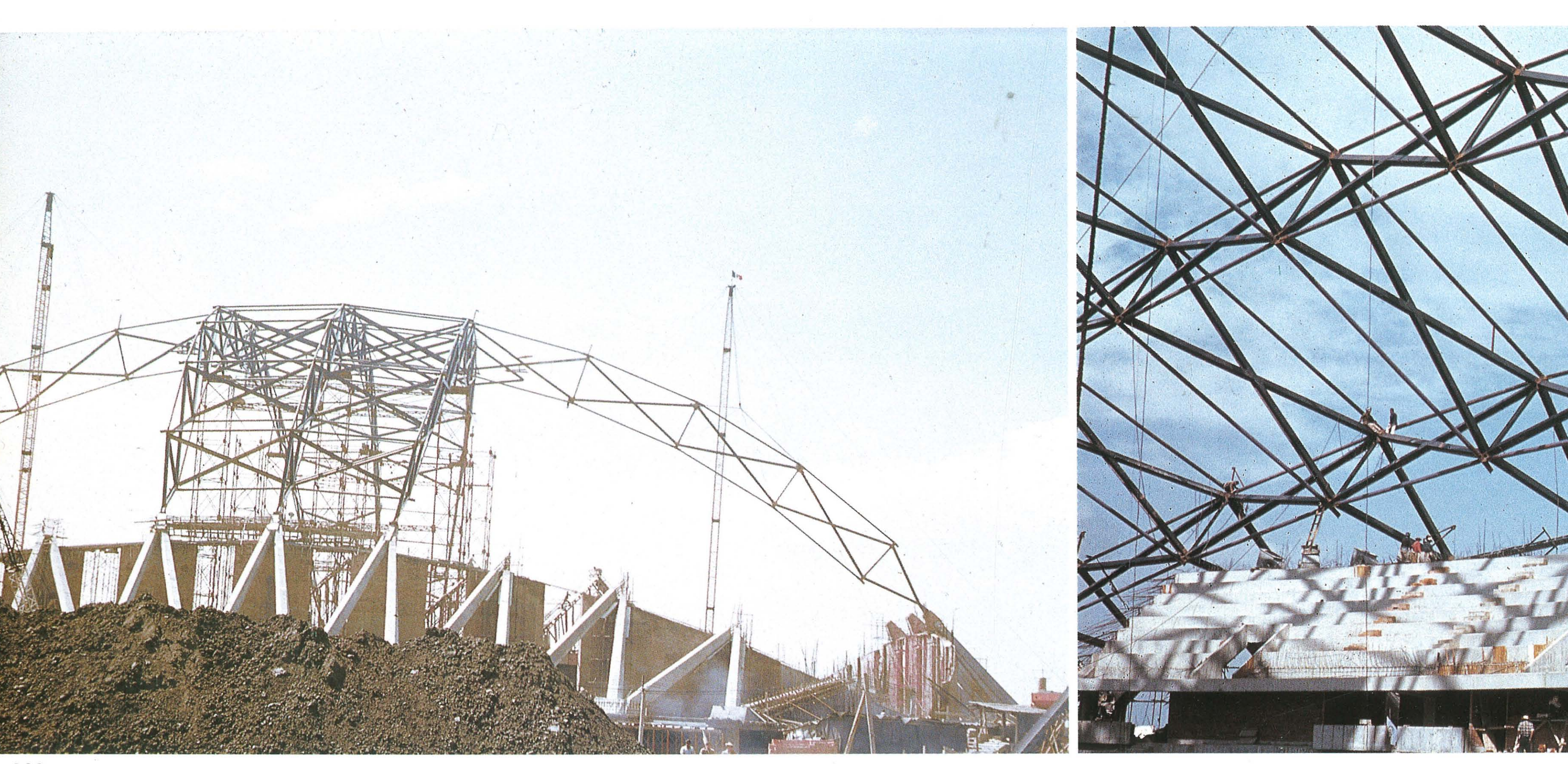



ORIGINAL SQUETCH
FOR SPORTS, PALACE.
MEX. OLYMPICS.

Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.



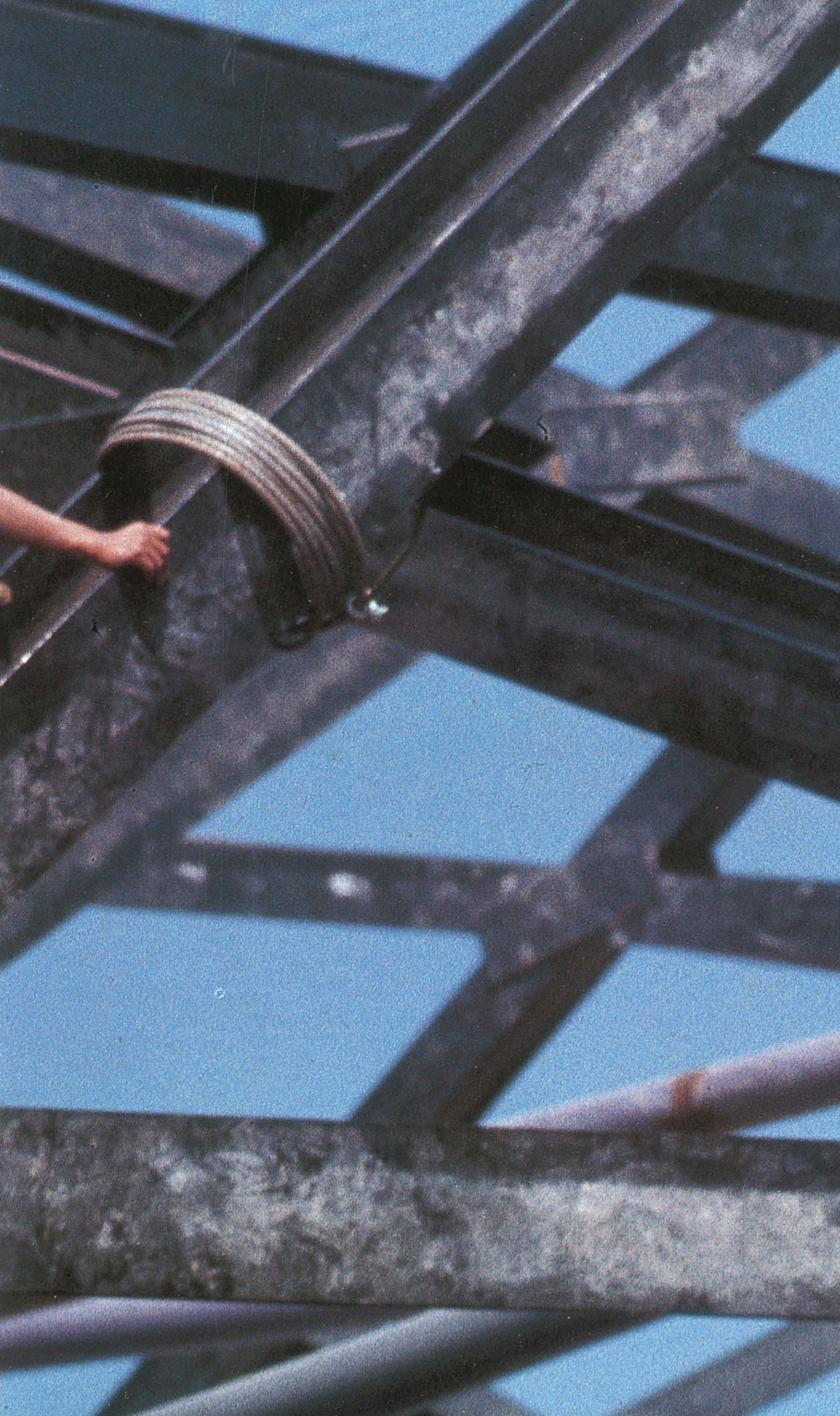
Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.



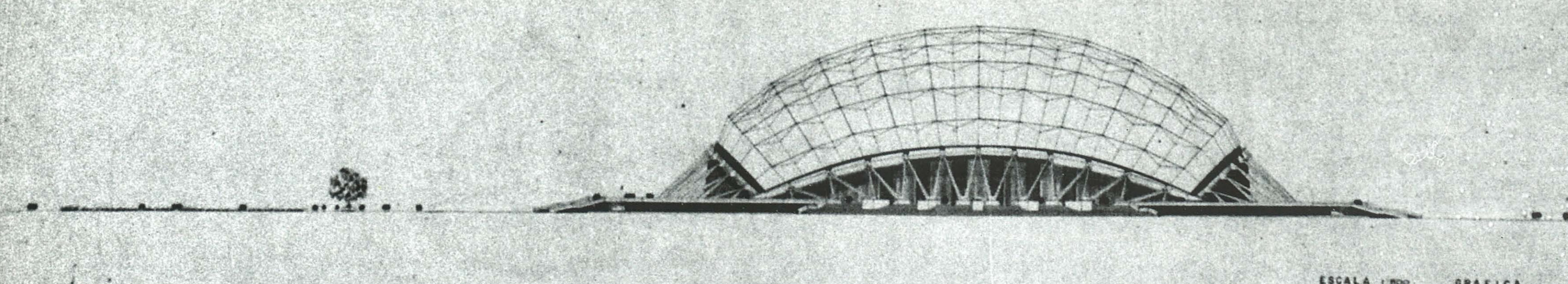

VIII

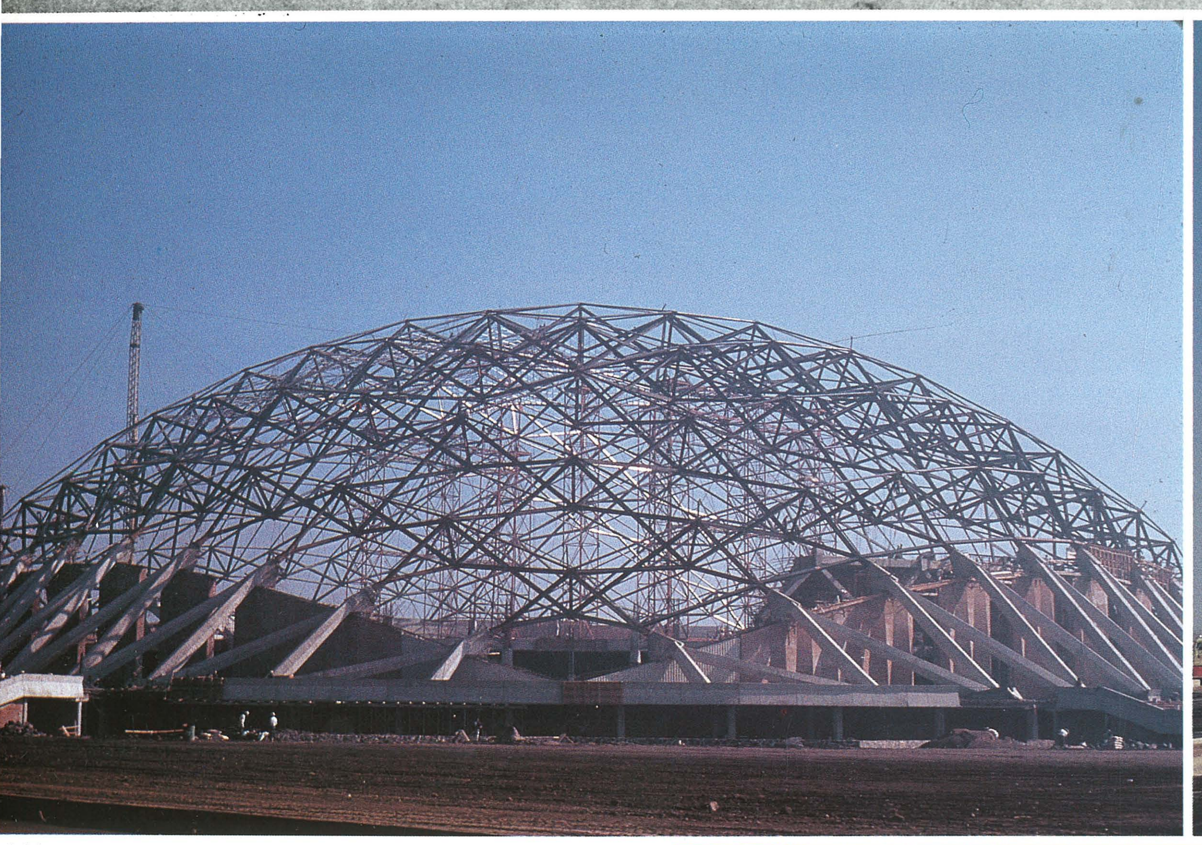
Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.



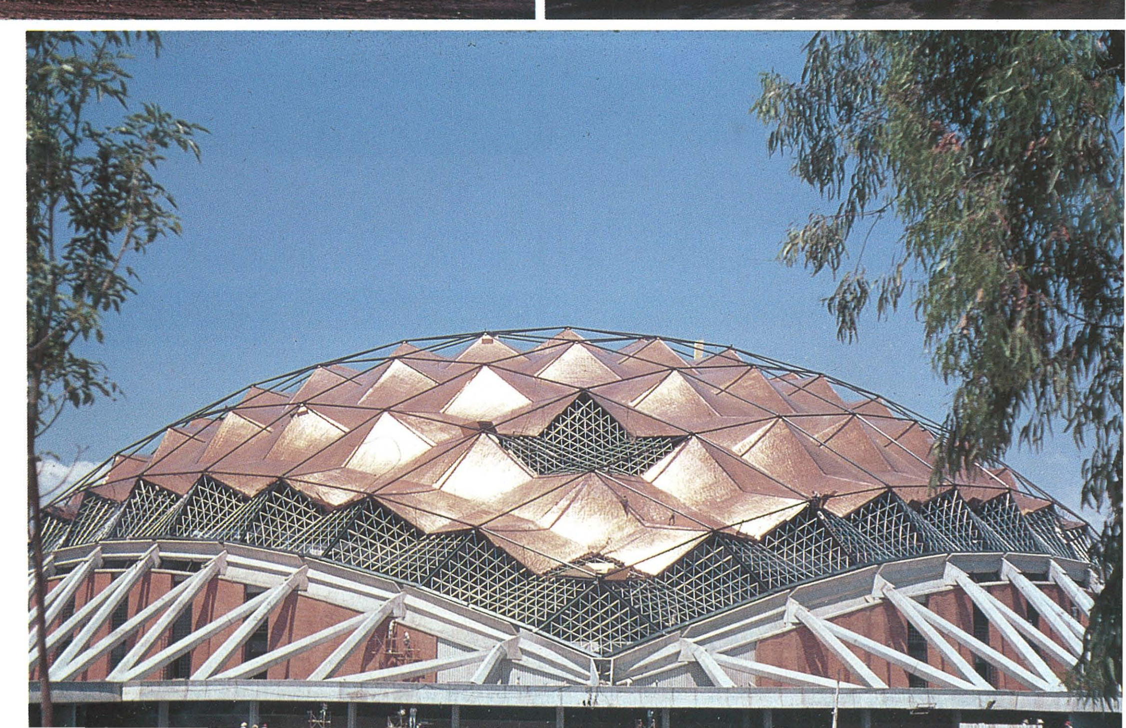



VIII


FACHADA PRINCIPAL
ESCALA 1:500
GRAFICA
PALACIO DE LOS DEPORTES
M E X I C O
G

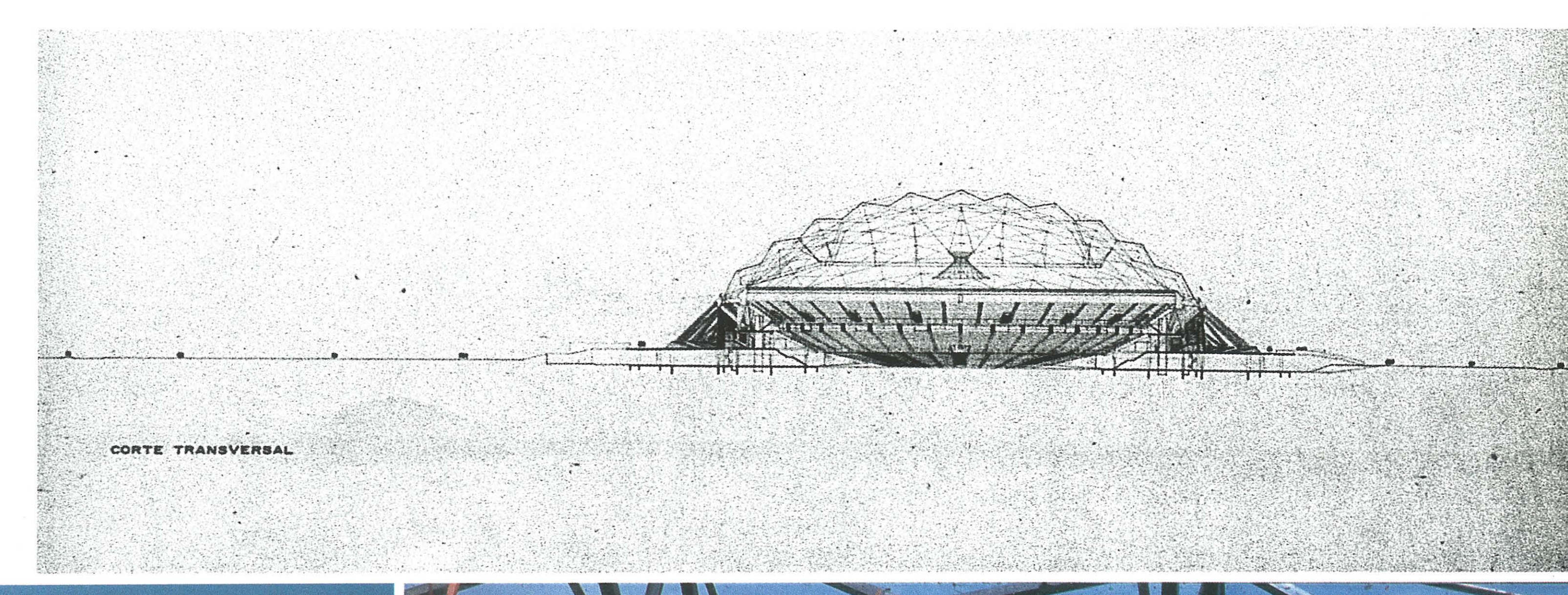








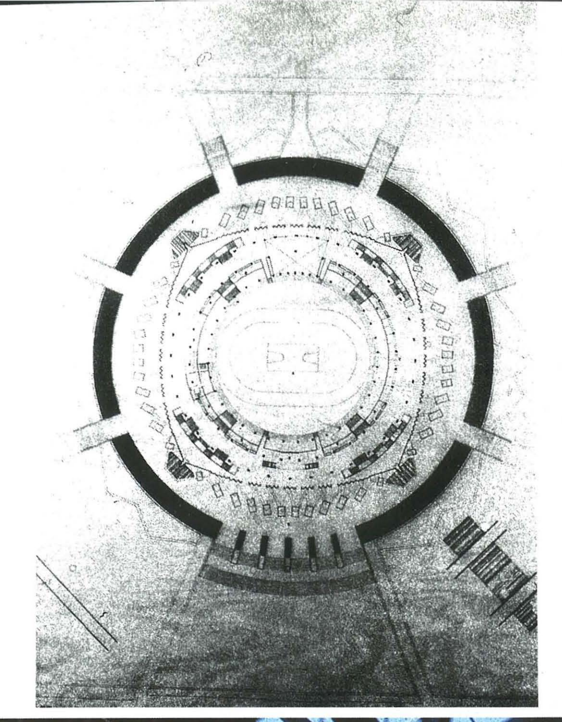
Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.

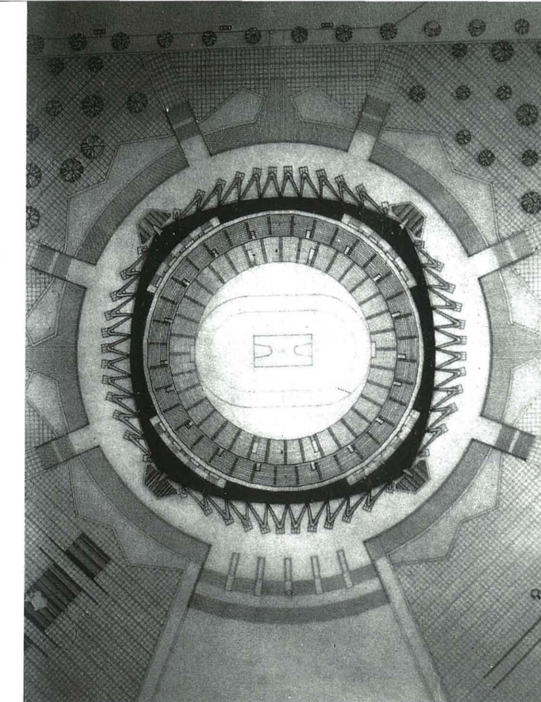




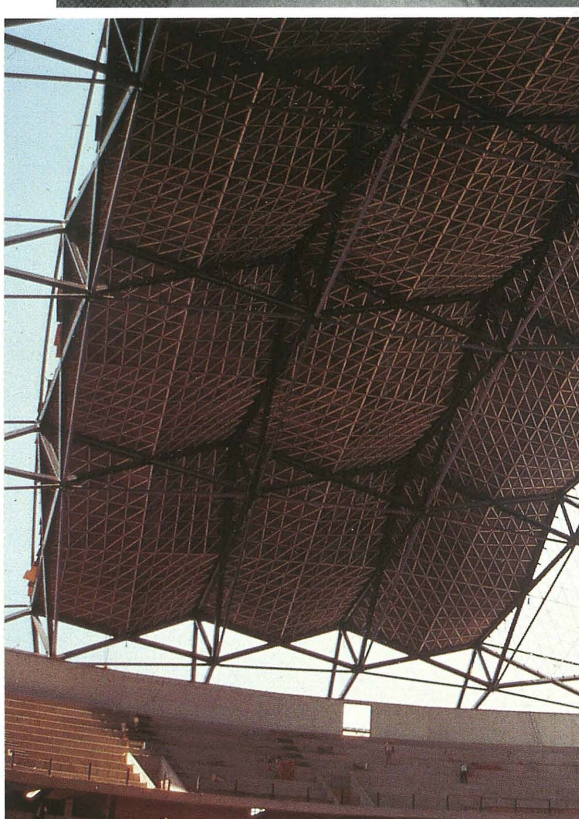




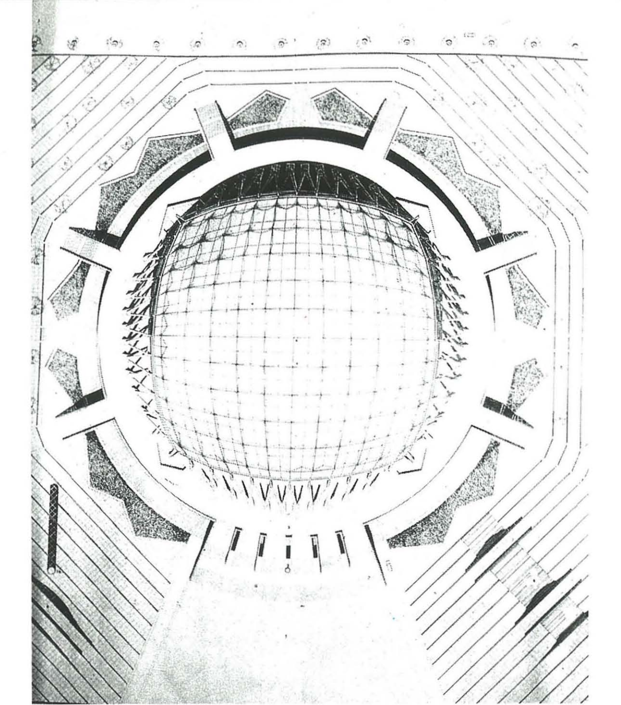


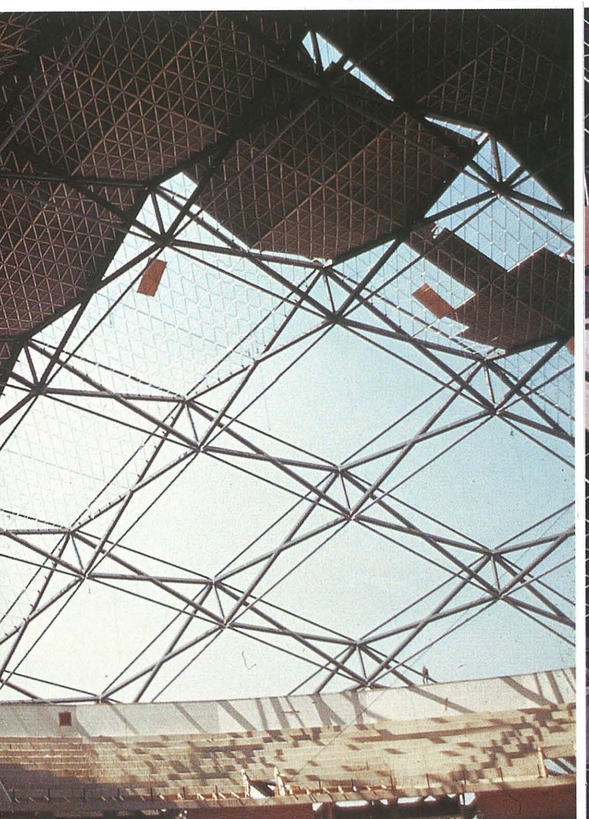


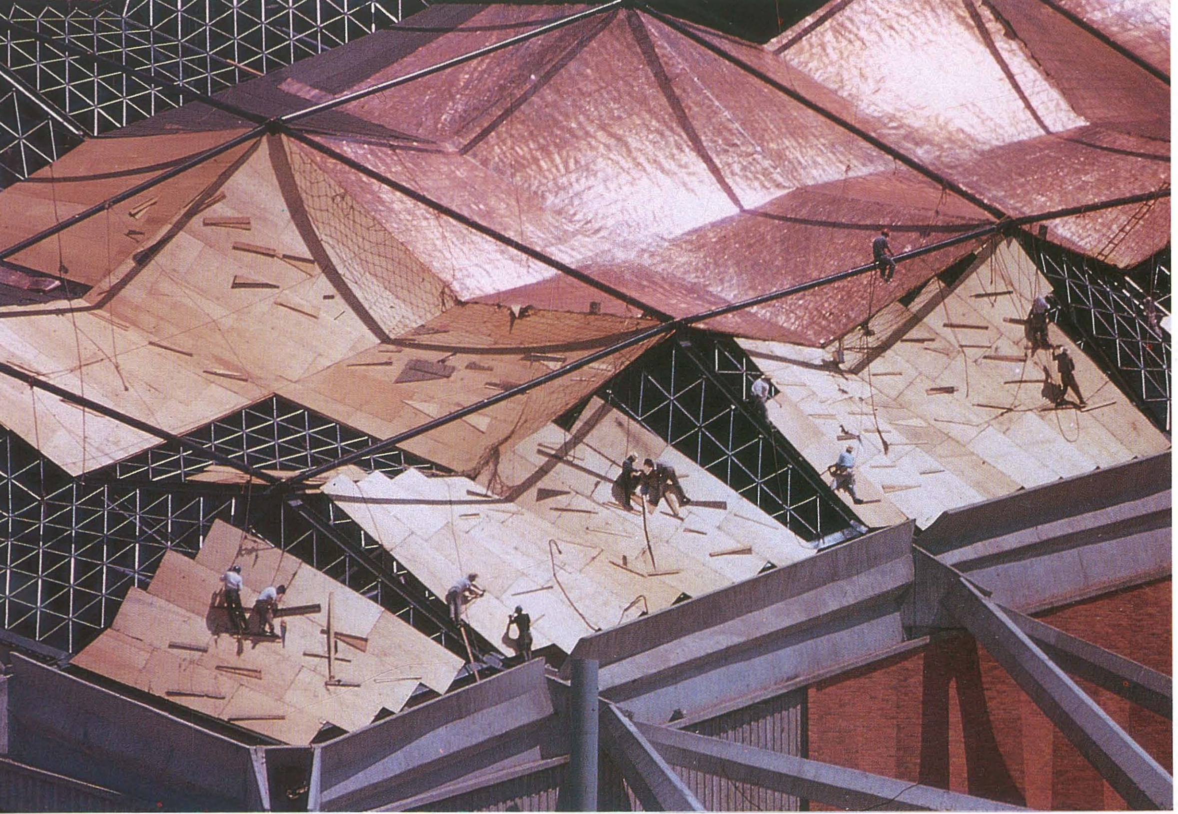


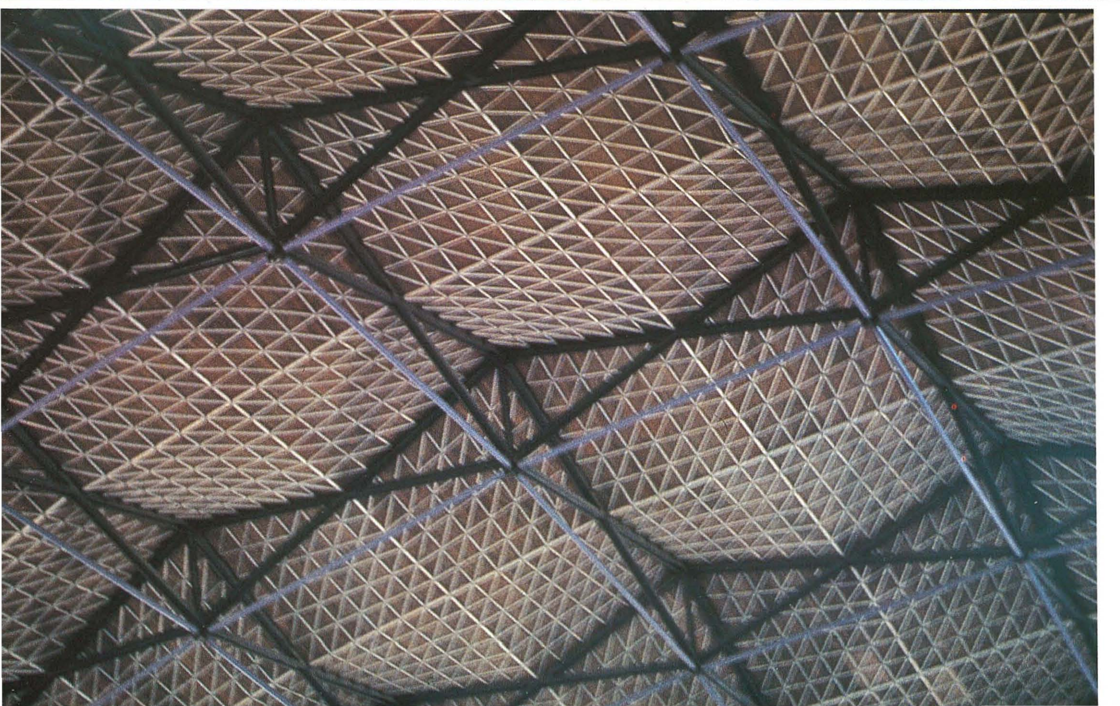



VIII

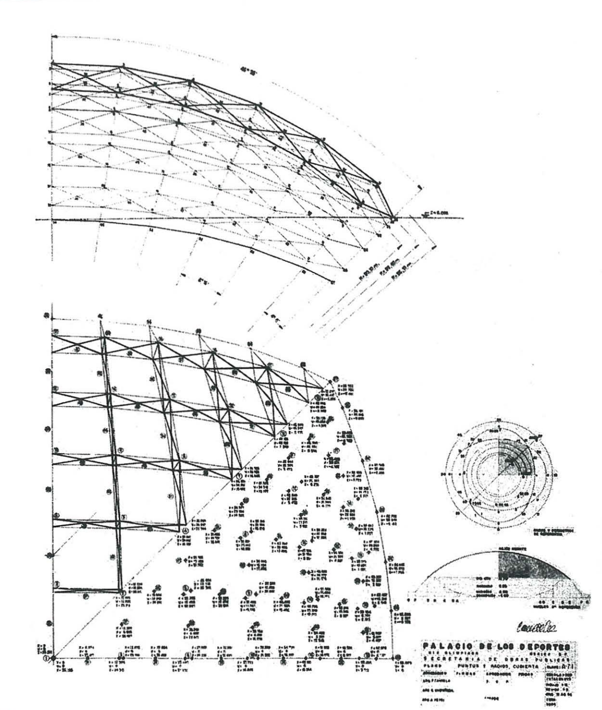


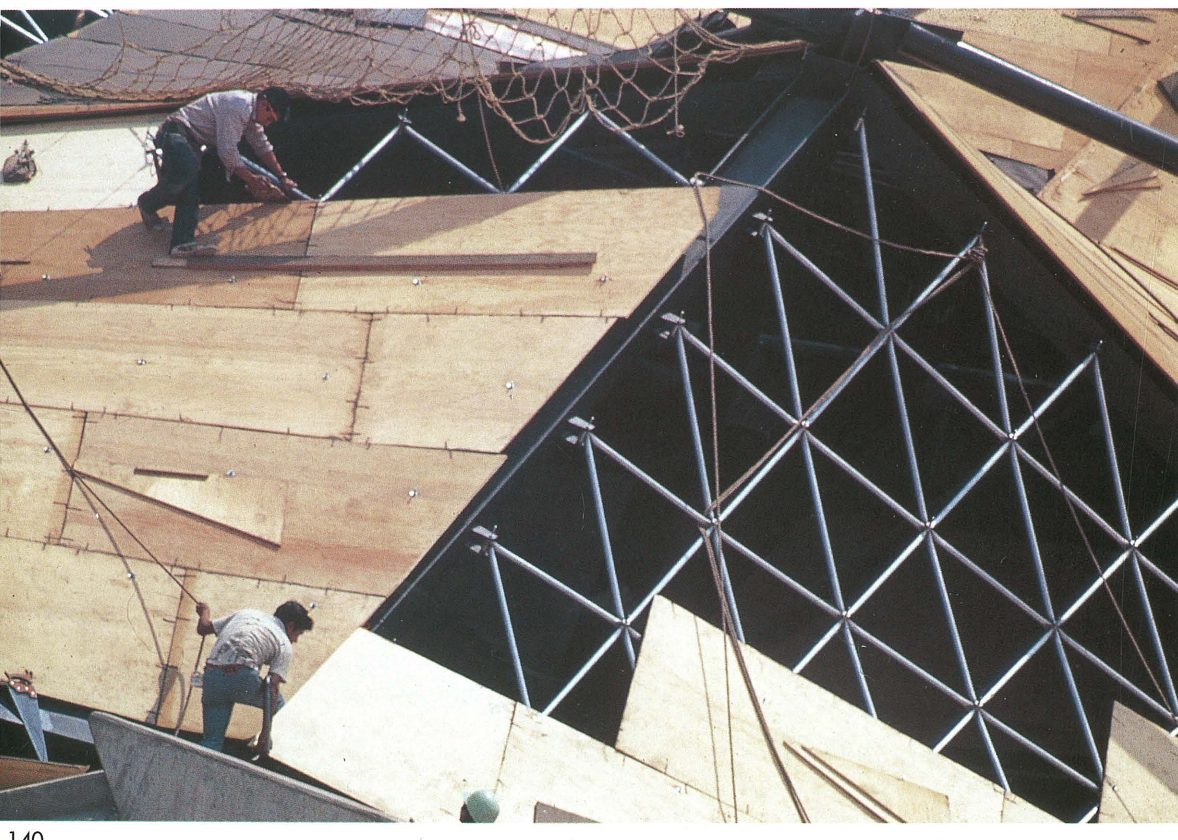




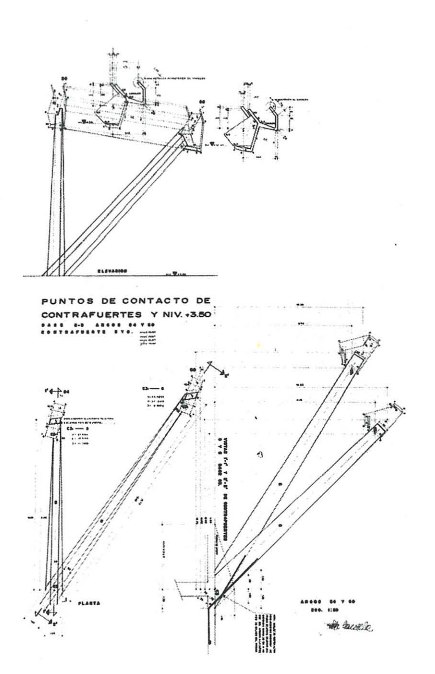


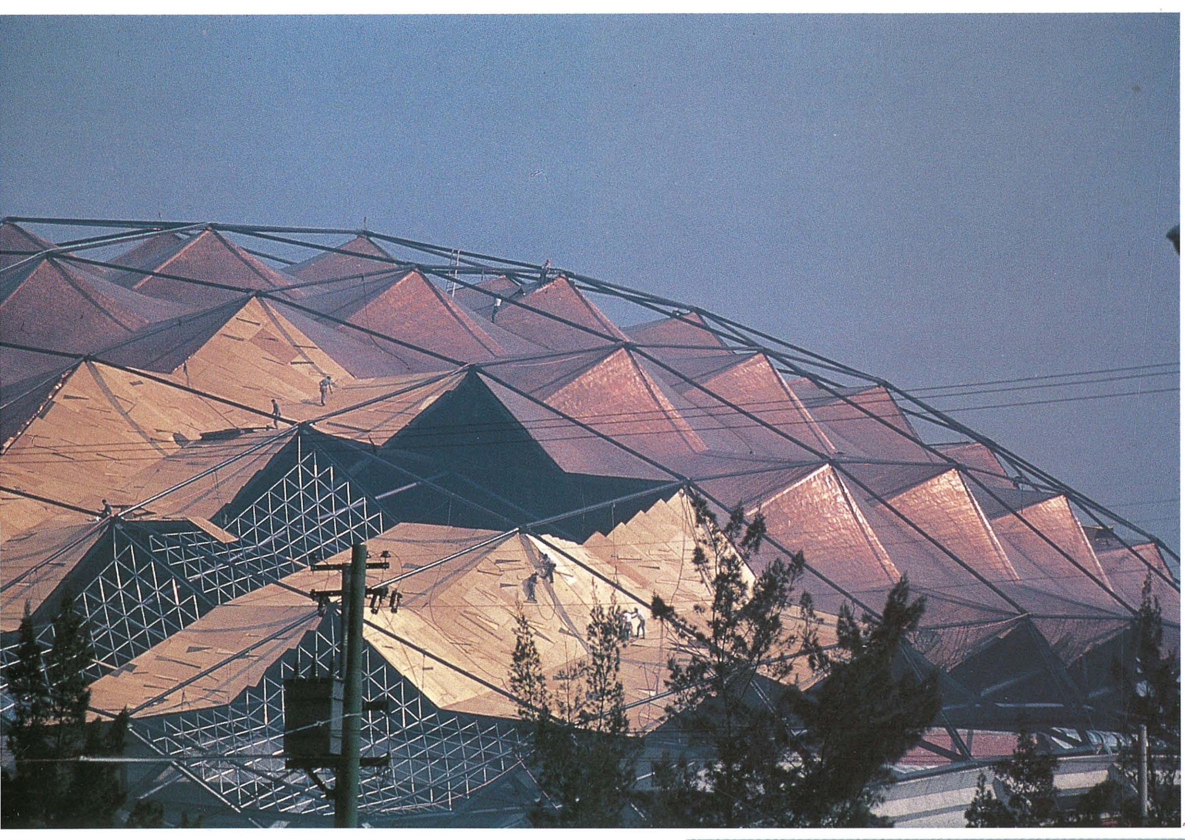
Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.






VIII


PUNTOS DE CONTACTO DE
CONTRAFUERTES Y NIV. +3.50
PLANTA





Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.

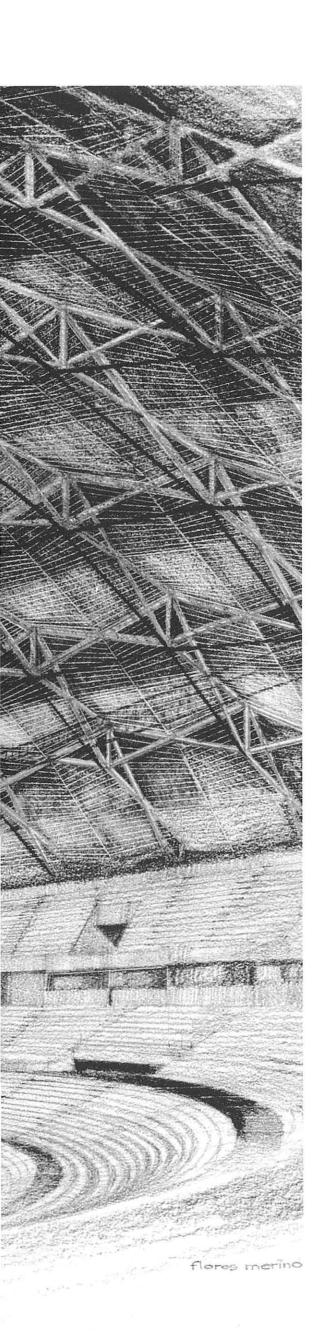




Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.

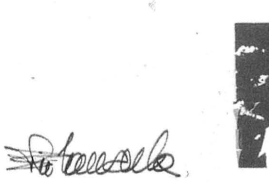
PALACIO DE LOS DEPORTES
M E X I C O

IX OTROS PROYECTOS NO CONSTRUIDOS UTILIZANDO EL CASCARÓN COMO ELEMENTO SECUNDARIO

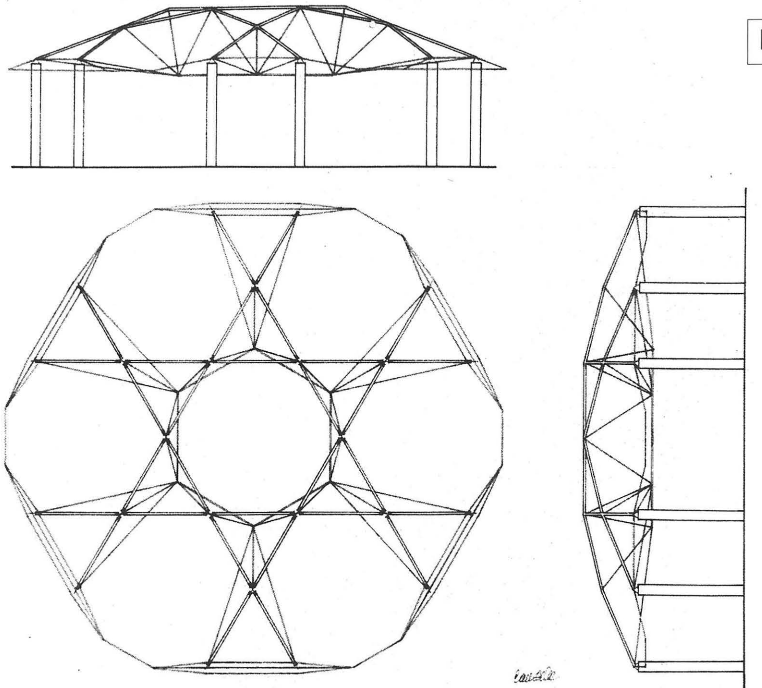


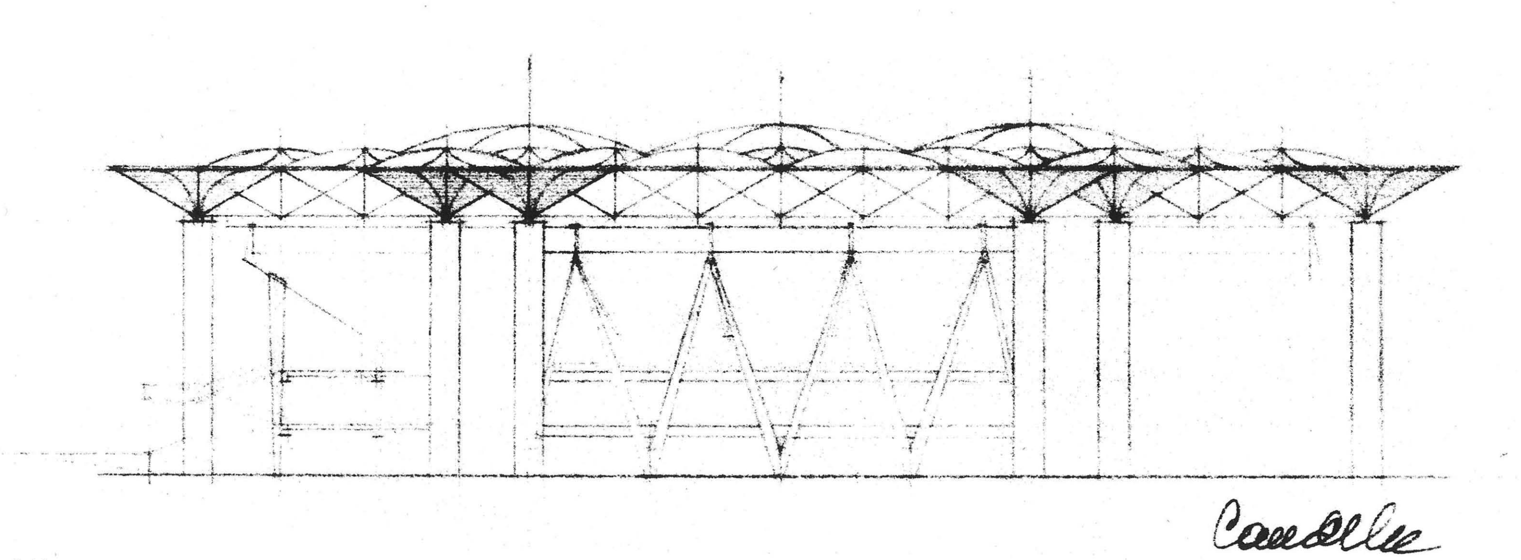
En este capitulo se incluye una serie de proyectos, estudios, y concursos realizados con posterioridad al Palacio de los Deportes, que no se llegaron a construir. Son una muestra del cambio de atención de Candela hacia la construcción de estructuras metálicas en cubiertas de grandes luces. La preocupación por la geometría y por la sencillez y sinceridad estructurales siguen patentes, así como la utilización de superficies regladas alabeadas, de gran rigidez y ligereza. Continúan siendo el sello indiscutible de su autor. El material ha cambiado, pero no el modo de enfrentar el diseño y la posible construcción de estas estructuras. Se experimenta todo tipo de formas y combinaciones, a la búsqueda de una mayor eficacia tanto constructiva como estructural. Sin olvidar nunca la belleza del conjunto basada en las proporciones y en la sencillez de los detalles.
"El éxito no estriba en construir formas extravagantes, sino en hacer cosas sencillas estudiando con cariño los detalles."



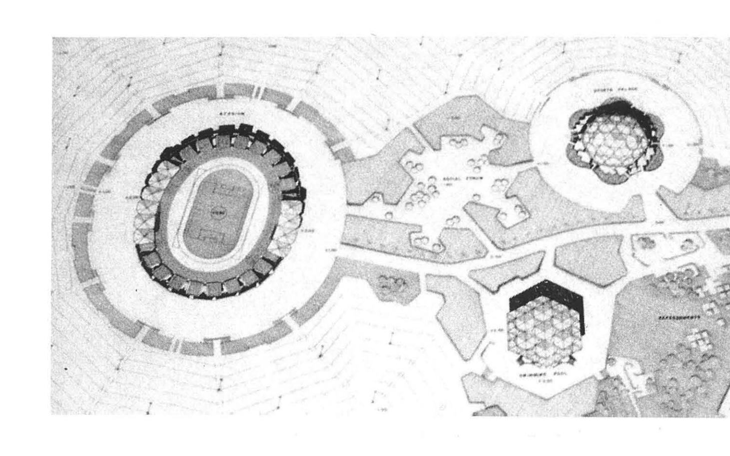


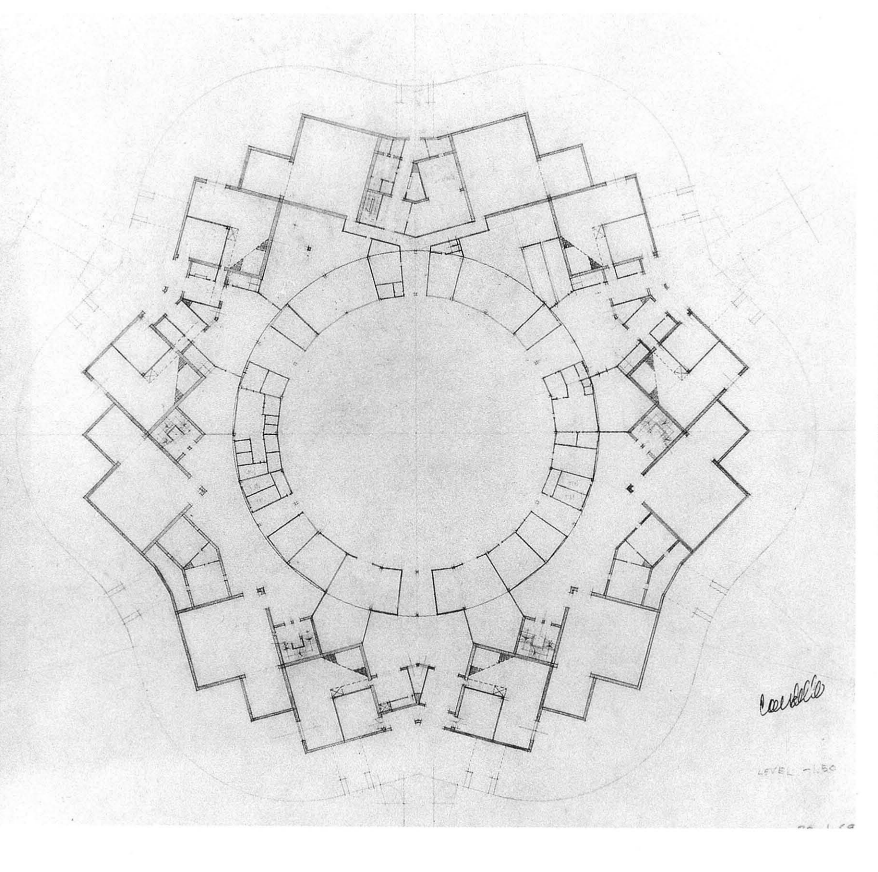
Proyecto para una plaza de toros. Orizaba.

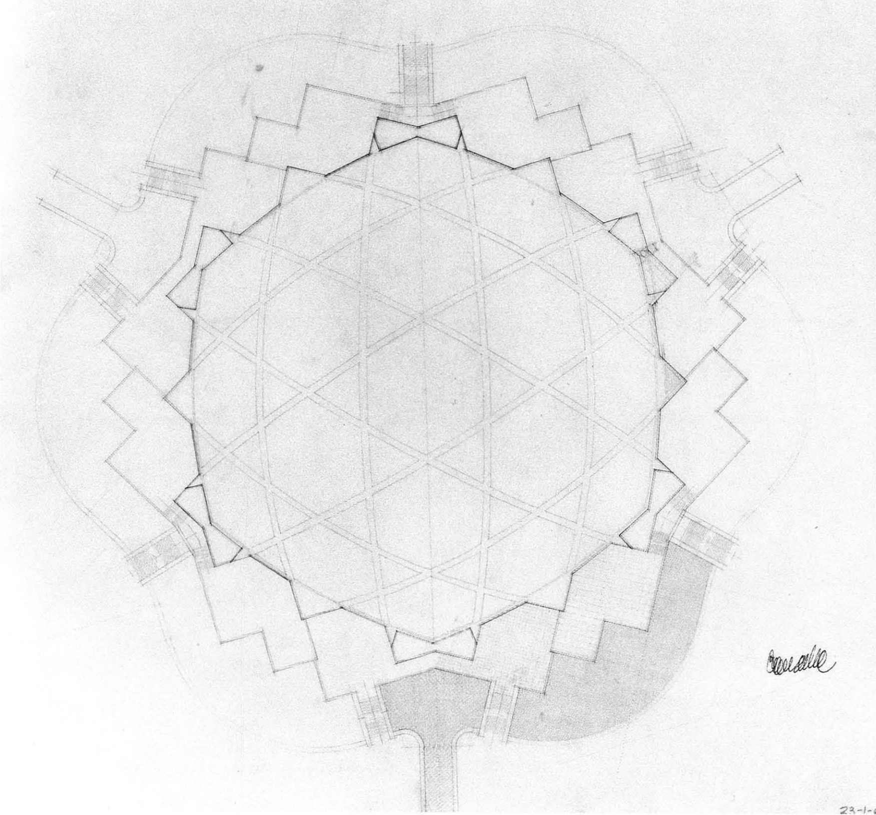


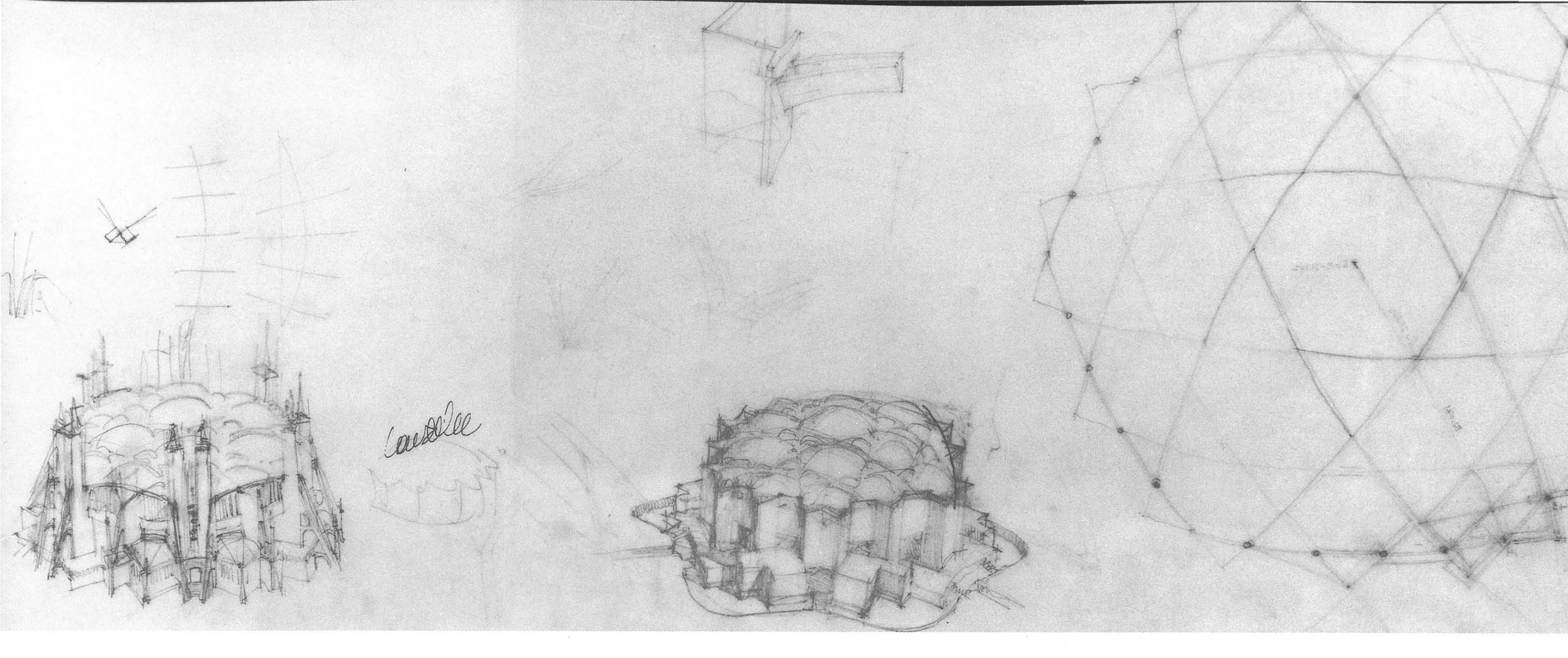


Concurso para una Ciudad Deportiva. Kuwait, 1969.

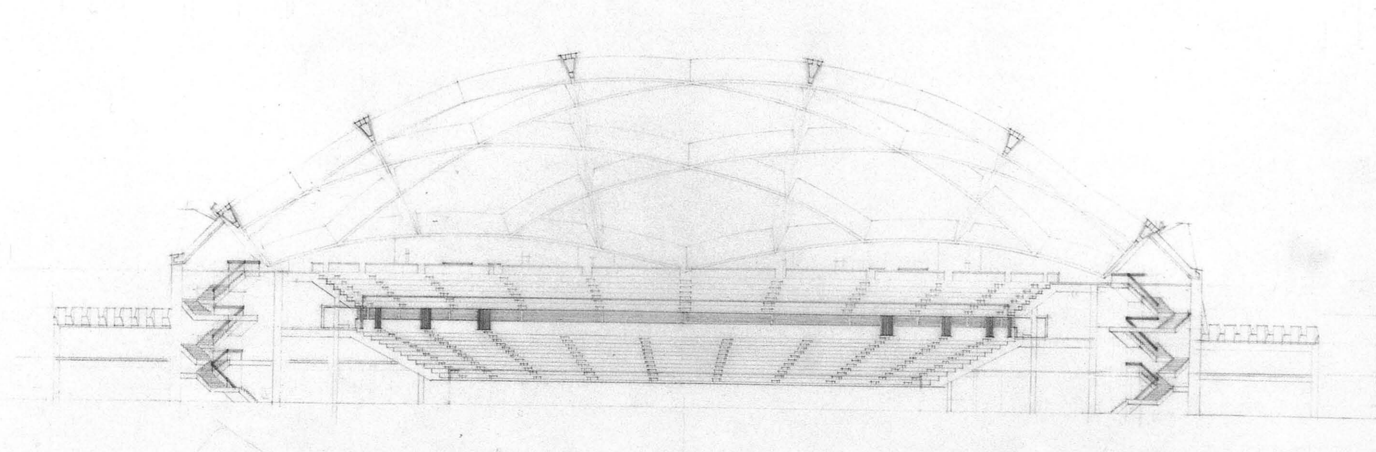


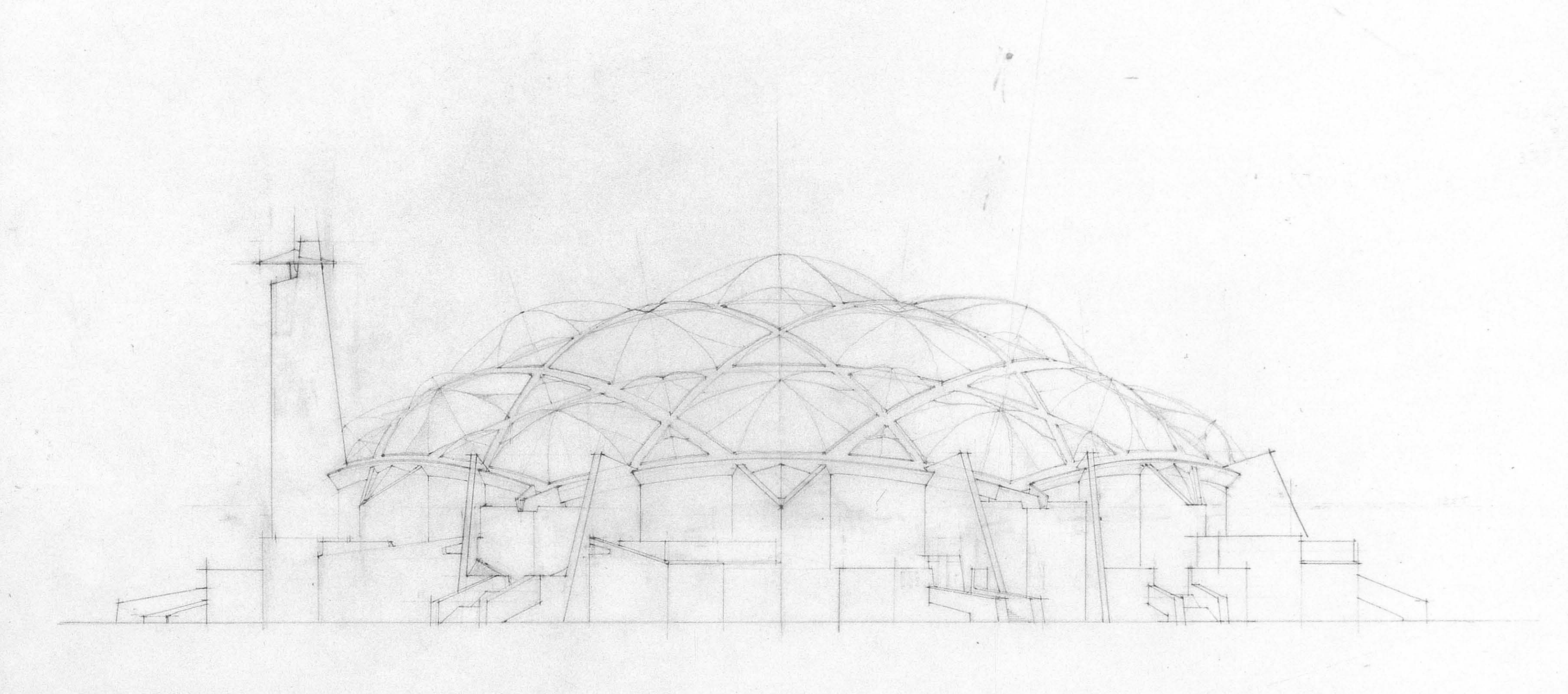


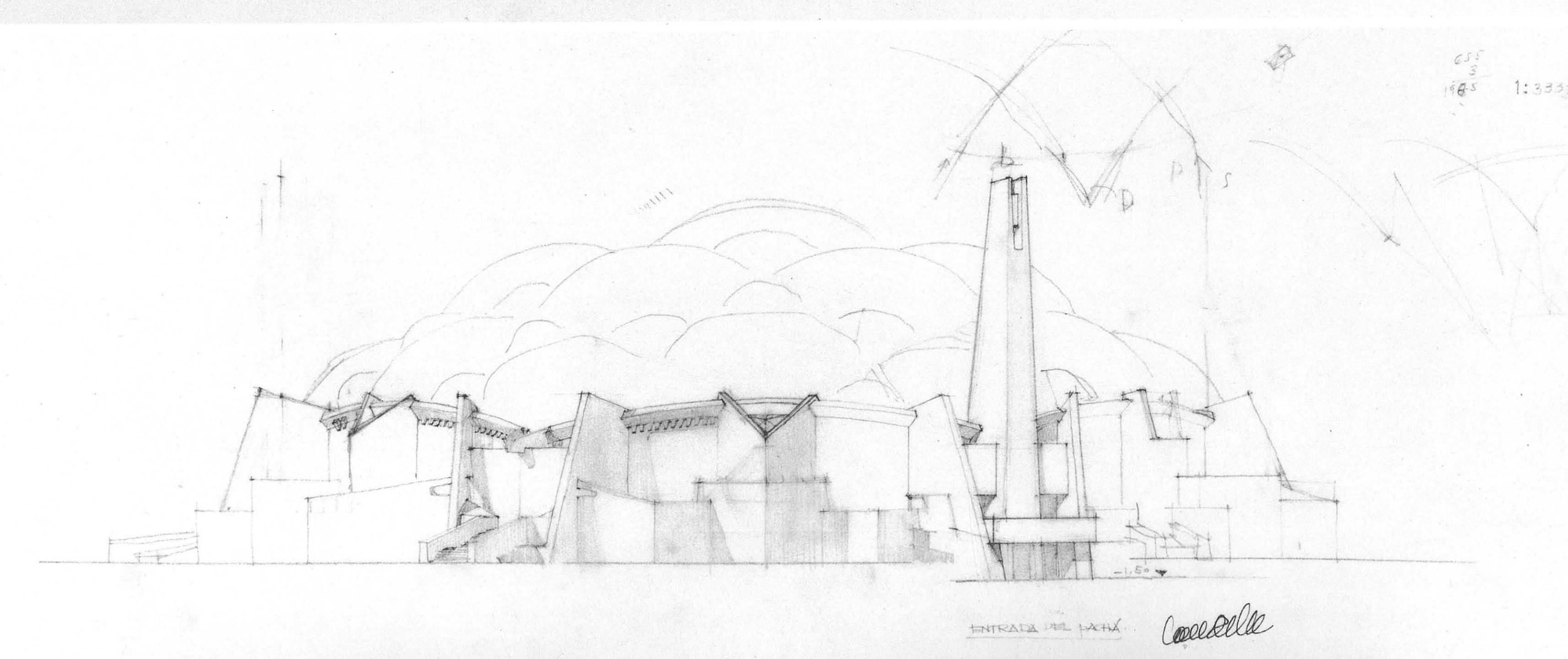




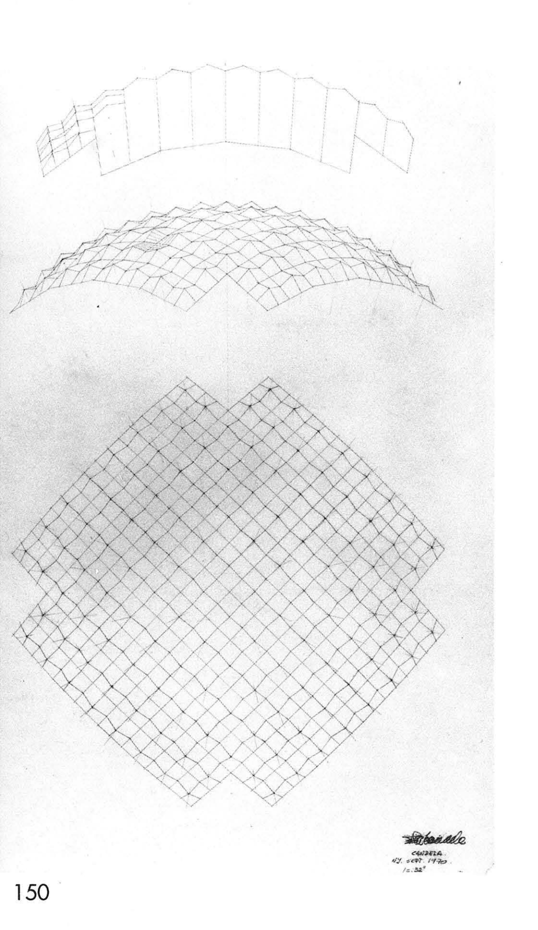
Concurso para una Ciudad Deportiva. Kuwait, 1969.

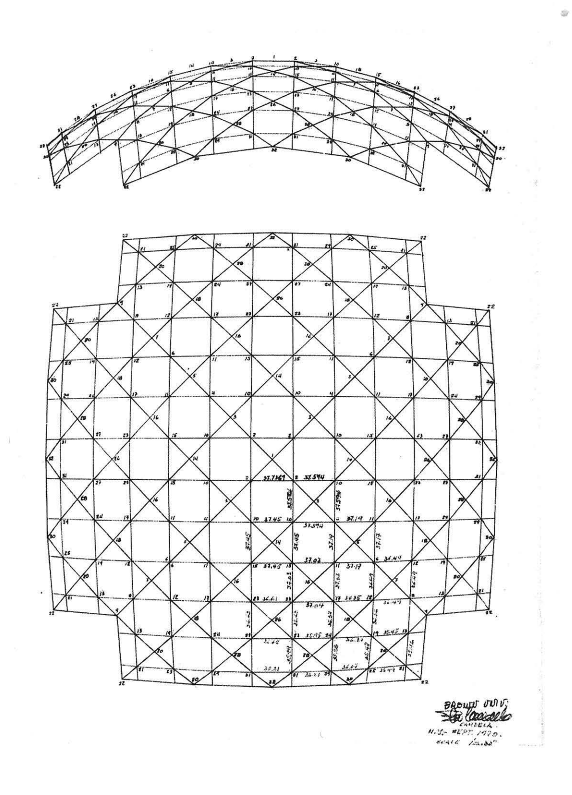


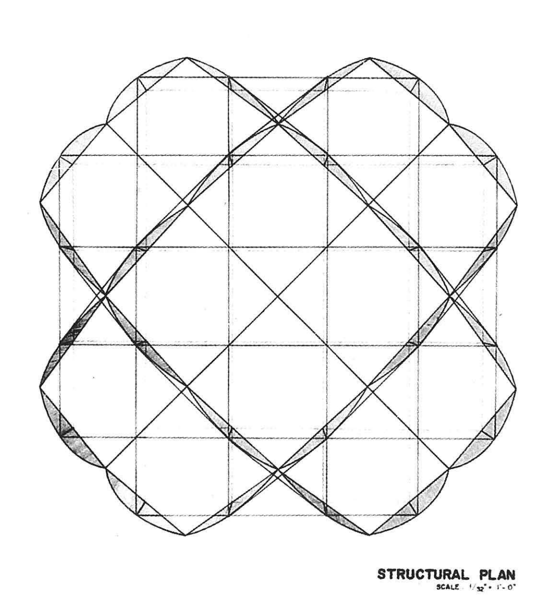



1:333 1/3
-1,50
ENTRADA DEL

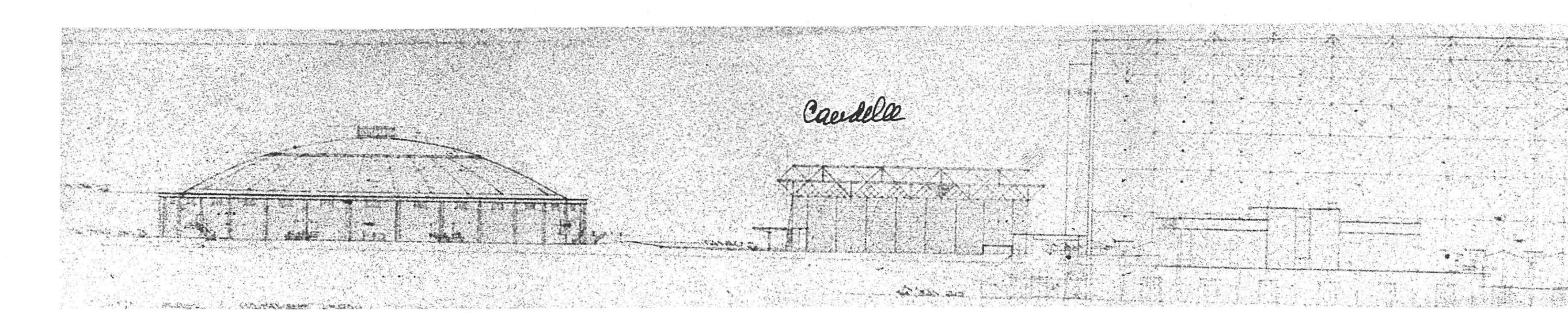
Complejo deportivo. Universidad de Brown. Providence, Rhode Island, EE.UU. 1968-70.





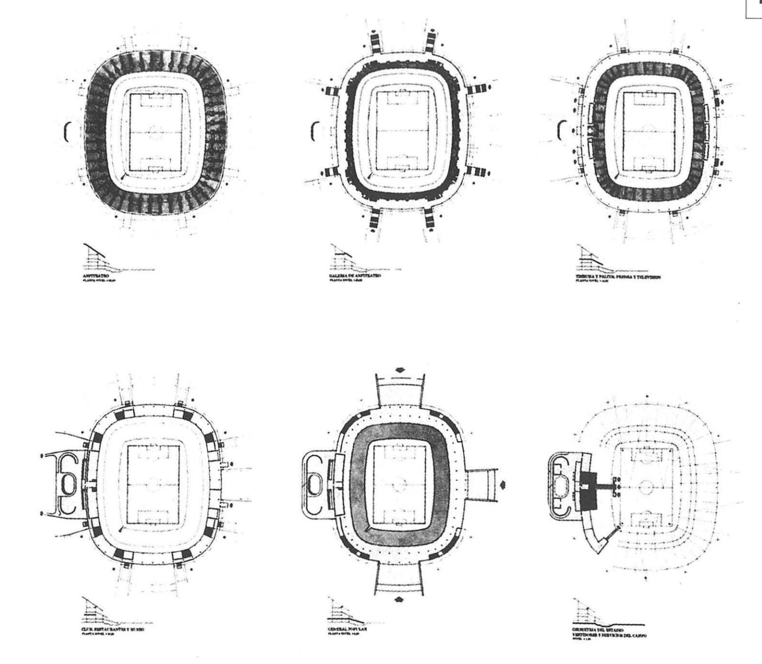


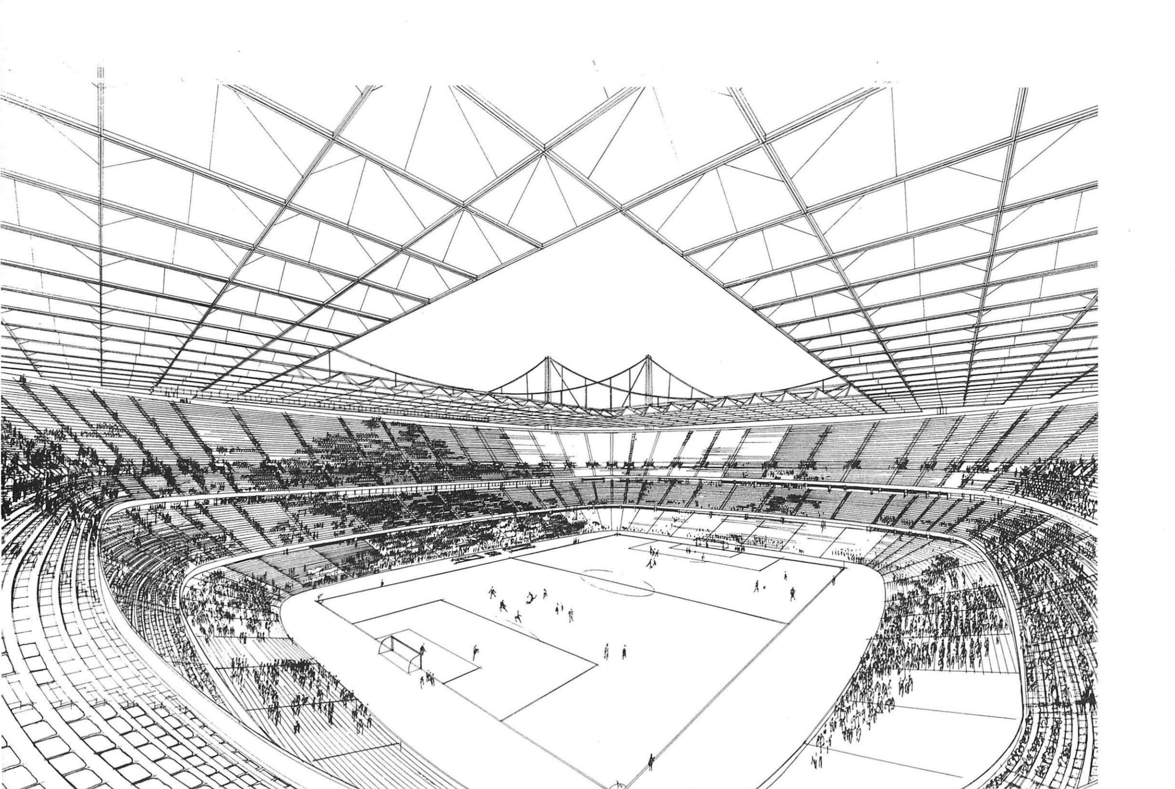
IX



ORTHOGONAL DOME

Proyecto de un nuevo estadio de fútbol Santiago Bernabeu del Real Madrid F.C. Madrid. 1973.







RELACIÓN DE OBRAS EXPUESTAS

I PRIMEROS INTENTOS

BÓVEDAS FUNICULARES

Bóveda experimental tipo "Ctesiphon". San Bartolo, México D.F., 1949.
Escuela Experimental. Ciudad Victoria (Tamaulipas), México, 1950.

CONOIDES

Conoide para la Fábrica Fernández. San Bartolo, México D.F., 1950.
Casa nº 4 para la revista *Novedades* (entrada). Jardines del Pedregal, México, 1951.

BÓVEDAS CILÍNDRICAS

Casa nº 2 para la revista *Novedades*. Jardines del Pedregal, México D.F., 1951.

CILÍNDRICAS LARGAS

Salón deportivo para el Junior Club. Colonia Escandón, México D.F., 1952.
Almacenes Bacardí. Cuautitlán (México).

CILÍNDRICAS LARGAS EN DIENTE DE SIERRA

Laboratorios farmacéuticos Ciba. Calzada de Tlalpam, México D.F., 1953.
En colaboración con el arquitecto Alejandro Prieto.

CILÍNDRICAS CORTAS

Almacenes para la Aduana de México. Colonia Vallejo, México D.F.,1953.
En colaboración con el arquitecto Carlos Recamier.
Planta fundidora Alcoa. Veracruz (Veracruz), México,1961.

CÚPULAS

Cubierta para el Centro Gallego. Colonia Roma, México D.F. 1953.
En colaboración con el arquitecto José Caridad Mateo.
Night Club La Jacaranda. Zona Rosa, México D.F., 1954.
En colaboración con el arquitecto Max Borges.

II NAVES INDUSTRIALES

PARAGUAS FORMADOS POR HYPARS

Paraguas experimental. Colonia Vallejo, México D.F.,1953.
Bodegas Río. Lindavista, México D.F., 1954.
Fábrica High Life. Coyoacán, México D.F., 1954-55.
Edificio para Olivetti de México. Colonia Vallejo, México D.F., 1954.
Fábrica Celestino Fernández. Colonia Vallejo, México D.F. 1955.
Nave industrial Trevilla.
Fábrica de Acabados Finos. Puente de Vigas (México), 1954-55.
En colaboración con Leopoldo Domínguez.
Almacenes Hernáiz.

Vidriera Nacional.
Fábrica de dulces El León. Colonia Vallejo, México D.F., 1956-57.
En colaboración con Joaquín y Fernando Álvarez Ordóñez.
Insignia del parque industrial Great Southwest. Dallas (Texas), EE.UU., 1958.
En colaboración con O'Neil Ford, Swank, Colley y Zisman.
Mercado público. Veracruz (Veracruz), México, 1961.

TECHOS A CUATRO AGUAS (O CÚPULAS RECTANGULARES)

Fábrica de muebles Frey. Xalostoc (México), 1955.
Naves. Monterrey (Nuevo León), México.
Almacén Herdez. San Bartolo, México D.F., 1955-56.
Laboratorios farmacéuticos Lederle. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1957. En colaboración con el arquitecto Alejandro Prieto.
Texas Instruments. Dallas (Texas), EE.UU., 1957.
En colaboración con O'Neil Ford y Richard Colley.
Mercado en Cali, Colombia.
Estación de metro Zaragoza. México D.F., 1967.

PARAGUAS INVERTIDOS

Zapatas para las aduanas de México. Colonia Vallejo, México D.F., 1953.
Bungalows en el Hotel Casino de la Selva. Cuernavaca (Morelos), México, 1958.

III VARIACIONES A LOS PARAGUAS Y ABANICOS

Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa. Navarte, México D.F., 1953.
Entrada a los laboratorios Ciba. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1953.
En colaboración con Alejandro Prieto.
Entrada a los laboratorios Lederle. Calzada de Tlalpam, Coapa, México D.F., 1955. En colaboración con Alejandro Prieto.
Quiosco de música. Santa Fe, México D.F., 1956. En colaboración con Mario Pani.
Emblema para el lago Tequesquitengo (Morelos), México, 1957.
En colaboración con Guillermo Rosell y Manuel de la Rosa.
Bazar y fuente ornamental. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México, 1958. En colaboración con Guillermo Rosell y Manuel de la Rosa.
Estación de Metro Candelaria, México D.F., 1967.

IV HYPARS CON BORDES RECTOS

Capilla de Nuestra Señora de la Soledad. San José del Altillo. Coyoacán, México D.F., 1955. En colaboración con Enrique de la Mora y Fernando López Carmona.
Iglesia de San José Obrero. Monterrey (Nuevo León), México, 1959.
En colaboración con Enrique de la Mora y Fernando López Carmona.
Capilla de San Vicente de Paul. Coyoacán, México D.F., 1959.
En colaboración con Enrique de la Mora y Fernando López Carmona.
Beach Club. Playa Azul, Venezuela. 1958.
En colaboración con Guillermo Shelley y José Chávez.

Sinagoga. Ciudad de Guatemala. Guatemala, 1960.
En colaboración con Jorge Montes y Carlos Haeussler.

V HYPARS CON BORDES CURVOS

Garaje en la Residencia Almada. Jardines del Pedregal, México D.F., 1951.
En colaboración con Horacio Almada.

Pabellón de Rayos Cósmicos Van de Graaf. Ciudad Universitaria, México D.F., 1951. En colaboración con Jorge González Reina.

Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca, Palmira (Morelos), México. 1958.
En colaboración con Guillermo Rosell y Manuel de la Rosa.

VI BÓVEDAS POR ARISTA CON HYPARS

Cubierta para el antiguo edificio de la Bolsa de Valores de México. Calle Uruguay, México D.F., 1955. En colaboración con Enrique de la Mora y Asociados.

Iglesia de San Antonio de las Huertas. Calzada de México, Tacuba, México D.F., 1956. En colaboración con Enrique de la Mora y Fernando López Carmona.

Night Club La Jacaranda. Hotel Presidente, Acapulco (Guerrero) México, 1957.
En colaboración con Juan Sordo Madaleno.

Restaurante Los Manantiales.Xochimilco, México D.F., 1957.
En colaboración con Joaquín Álvarez Ordóñez.

Restaurante y cine en el Hotel Casino de la Selva. Cuernavaca (Morelos), México, 1958.

Planta embotelladora Bacardí. Cuautitlán (México), 1960.
En colaboración con Alfredo Terrazas de la Peña.

Oficina de Ventas en Guadalajara, México, 1960.

Iglesia en la Colonia La Florida, México D.F., 1966.

VII OTRAS COMBINACIONES DE HYPARS

Iglesia de Santa Mónica. San Lorenzo Xochimancas, México D.F., 1960.
En colaboración con Fernando López Carmona.

Auditorio para el Instituto Angloamericano de Cultura. México D.F., 1961.
En colaboración con Enrique de la Mora y Asociados.

Estación de Metro Balderas. México D.F., 1967.

Proyecto para la iglesia de Nuestra Señora del Buen Consejo. Polanco, México D.F.
En colaboración con Juan Sordo Madaleno.

Proyecto para la capilla del Pilar. San Antonio Xotepingo, México.

VIII EL HYPAR COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL SECUNDARIO

Palacio de los Deportes para la XIX Olimpiada en México, México D.F., 1968.
En colaboración con Enrique Castañeda y Antonio Peirí.

IX PROYECTOS NO CONSTRUIDOS UTILIZANDO EL HYPAR COMO ELEMENTO SECUNDARIO

Estadio de fútbol.Calzada de Tlalpam, México D.F., 1960.
En colaboración con Luis la Guette.
Salón de exposiciones para el Cristal Palace de Londres y para el Palacio de los Deportes de México. México, 1964-66.
Complejo deportivo. Universidad de Brown. Providence, Rhode Island, EE.UU. 1968-70. En colaboración con Praefer, Kawanagh y Waterbury.
Concurso para una Ciudad Deportiva. Kuwait, 1969.
Proyecto para una plaza de toros. Orizaba.
Proyecto de un nuevo estadio de fútbol Santiago Bernabeu, del Real Madrid F.C., Madrid, 1973.

X OTROS PROYECTOS EXPUESTOS (DIBUJOS, CROQUIS Y CÁLCULOS).

Arco monumental. Monterrey (Nuevo León), México, 1963.
Hemisfair Tower. San Antonio (Texas). EE.UU. 1964.
Croquis para la iglesia de San Esteban.
En colaboración con Jaime Ortiz Monasterio.
Croquis de una iglesia desconocida.
Esquemas de combinaciones simples con hypars.
Cálculos para una bóveda cilíndrica en Dinamarca.
Diagramas de solicitaciones para la iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe. Madrid, 1963.
Cálculos de losas plegadas.
Cálculos para una iglesia en Xotepingo.
Prueba de carga de un paraboloide experimental.



Félix Candela con sus padres y hermanos en Madrid

ESQUEMA BIOGRÁFICO

1910	Nace el 27 de enero en Madrid, en la calle Mayor.
1927	Comienza a estudiar arquitectura en su ciudad natal.
1932	Campeón nacional de esquí. Campeón regional de salto de pértiga.
1934	Equipo de rugby, selección internacional. Da clases particulares a sus compañeros de Geometría. Profesor ayudante de Resistencia de Materiales.
1935	Obtiene la licenciatura.
1936	Beca de la Academia de Bellas Artes de San Fernando para cursar el doctorado en Alemania, que no puede llevar a cabo por el comienzo de la Guerra Civil.
1937-38	Nombrado capitán de ingenieros por el ejército republicano.
1939	Abandona España. Campo de refugiados de Perpiñán y exilio en junio a México, adonde llega por Veracruz. Trabaja como arquitecto en una colonia de obreros en Chihuahua.
1940	Se casa con Eladia Martín. Asociación profesional Candela-Bringas: hotel y apartamentos en Acapulco.
1941	Obtiene la nacionalidad mexicana.
1941-44	Ayudante en el estudio de José Martí y Asociados, México D.F.
1944-49	Ejercicio profesional libre, México D.F.
1949	Funda con sus hermanos Antonio y Julio la empresa de diseño y construcción, Cubiertas ALA S.A., de la que sería presidente hasta 1969.
1963	Fallece su esposa Eladia con quien había tenido cuatro hijas (Antonia, Manuela, Teresa y Pilar).
1953-70	Profesor de proyectos de arquitectura de la Universidad Nacional de México D.F.
1957	Exposición, University of Southern California, Los Ángeles.
1961	Exposición, Harvard University, Cambridge, Mass. y United States TOUR Medalla de Oro del Institute of Structural Engineers, Londres. Premio Auguste Perret, Unión Internacional Arquitectos (UIA).
1961-62	Título honorífico Charles Elliot Norton Professor of Poetry, Universidad de Harvard, Cambridge, Massachusetts.
1963	Plomada de Oro, Sociedad de Arquitectos Mexicanos.
1964	Doctor in Fine Arts Honoris Causa, Universidad de Nuevo México. Albuquerque.
1965	Premio Alfred E. Lindau Award, American Concrete Institute, Detroit.
1966	Título honorífico, Jefferson Memorial Professor, Universidad de Virginia, Charlottesville. Exposición en el McNair Museum, San Antonio, Texas, y en el Museum of Modern Art, Houston, Texas.
1967	Se casa con Dorothy Davies.
1968	Doctor en Ingeniería, Honoris causa, Universidad Santa María, Caracas, Venezuela.
1969	Profesor honorario en la ETSAM.
1969-71	Arquitecto asociado de Praeger-Kawanagh-Waterbury, Nueva York.
1969-74	Título honorífico Andrew D. White Professor at Large. Universidad de Cornell, Ithaca, Nueva York.
1971	Emigra a Estados Unidos.





Félix Candela con el equipo de arquitectos. Primer ampeonato universitario de rugby, Madrid, marzo, 1927

1971-78 Profesor de proyectos de arquitectura de la Universidad de Illinois, Chicago Circle.
Ejercicio libre de la profesión en Chicago.
1974-77 Título Honorífico Williams Hoffman Wood Proffesor of Architecture, Universidad de Leeds, Yorkshire.
1977 Profesor honorífico, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
Arquitecto consultor de Proyect Planning Asociation (Toronto) y de Idea Center (Atenas, Grecia) desde 1978
1978 Obtiene la nacionalidad estadounidense.
Nombrado oficial de la órden del Mérito Civil, España.
Profesor emérito de la Universidad de Illinois, Chicago Circle.
1979 Doctor in Fine Arts Honoris causa, Universidad de Illinois.
1980 Ejercicio libre de la profesión en Madrid.
Grande Medaille d'Argent de la Recherche et de la Technique, Academie d'Architecture, París.
1981 Medalla de Oro, Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, Granada.
1983 Medalla de Plata. Union des Architectes Bulgares, Sofia.
Miembro Emérito de la Academia de Arquitectura de México.
1985 Premio Antonio Camuñas, Madrid.
1987 Miembro fundador, Academia Internacional de Arquitectura, Sofia, Bulgaria.
1990 Doctor Honoris causa, Universidad de Sevilla, España.
1991 Correspondant Membre, Academie d'Architecture, París.

Además, es miembro honorario de las siguientes Instituciones:
Sociedad Colombiana de Arquitectos.
Sociedad de Arquitectos Venezolanos.
American Institute of Architects.
International Association for Shell Structures.
Royal Institute of British Architects.
Church Architectural Guild of America.
Asociación Costarricense de Arquitectos.
Colegio de Arquitectos del Perú.
Sociedad Boliviana de Arquitectos.
American Concrete Institute (FELLOW).
Union des Architectes Bulgares.
Actualmente reside en Raleigh, Carolina del Norte EE.UU.



Con Richard Neutra, Los Ángeles, 1956



Con Mies van der Rohe en Monticello, Virgina, 1966

OBRAS MÁS SIGNIFICATIVAS DE FÉLIX CANDELA

1939
Dos pequeños poblados obreros. Chihuahua. México.

1940
Edificio de apartamentos, Acapulco. (Guerrero). México.

1943
Hotel y cine, Guamuchil. México.

1945
Bloque de apartamentos, México D.F.
Hotel Catedral, México D.F.

1948
Casas, México D.F.

1949
Bóvedas funiculares experimentales (bóvedas Ctesiphon), San Bartolo, México D.F.
Escuela rural, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

1950
Fábrica Fernández, San Bartolo, México.
Fábrica Pinedo, Nativitas, México D.F.
Boliches Marsella, Juárez, México D.F.

1951
Almacenes Pisa, San Bartolo, México D.F.

1952
Junior Club, Escandón, México D.F.
Pabellón de Rayos Cósmicos Van de Graaf, Ciudad Universitaria, México D.F.
Casa Romero, El Pedregal, México D.F.
Floristería Ras Martín, Chapultepec, México D.F.
Lechería Ceinsa, Tlalnepantla, México.
Agencia de automóviles Nash, Anzures, México D.F.
Residencia Almada, El Pedregal, México D.F.
Paraguas experimental, Tecamachalco, México D.F.
Almacenes de Las Aduanas, Vallejo, México D.F.

1953
Cinco casas para la revista *Novedades*, Jardines del Pedregal, México D.F.
Almacenes Madaria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
Escuela Hidalgo, Unidad Modelo, México D.F.
Escuela Convento, Guerrero, México D.F.

Escuela Monte Alpes, Lomas de Chapultepec, México D.F.
Auditorio de Ciencias Químicas. Ciudad Universitaria, México D.F.
Centro Gallego, Roma, México D.F.
Laboratorios Ciba, Churubusco, México.
Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa, Navarte, México D.F.
Escuelas Guerrero. México.

1954
Almacenes de Río, Linda Vista, México D.F.
Almacenes de Sedas Parisinas, Xochimanca, México.
Cabaret La Jacaranda, Juárez, México D.F.

1955
Laboratorios Lederle, Coapa, México D.F.
Almacén Herdez, San Bartolo, México D.F.
Destilería Bacardí, La Galarza, Matamoros, Puebla, México.
Auditorio para Centro Cívico en Ciudad Sahagún, Hidalgo, México.
Fábrica High Life, Coyoacán, México D.F.
Fábrica Acabados Finos, Puente de Vigas, México.
Mercado de Coyoacán, México D.F.
Muelle para la fábrica de cementos La Tolteca, Vallejo, México D.F.
Rastro de Pollos, Vallejo, México D.F.
Fábrica para Remington Rand, Vallejo, México D.F.
Almacenes Celestino, Vallejo, México D.F.
Almacenes Cabero, Vallejo, México D.F.
Mercado de Abastos Jamaica, México D.F.
Banco Núñez, La Habana, Cuba.
Palacio Presidencial, La Habana, Cuba (proyecto).
Viviendas económicas de bajo costo en Monterrey, Nuevo León, México.
Restaurante Cross Roads en Great Southwest, Texas, EE. UU.
Emblema para el distrito de Great Southwest, Texas, EE. UU.
Bolsa de Valores, México D.F. (En colaboración con Enrique de la Mora).
Capilla de San José del Altillo, Santo Ángel, México D.F.
(En colaboración con Enrique de la Mora).
Fábrica Rivetex, Cuernavaca, México.
Fábrica La Fama, Tlalpam, México D.F.
Fábrica Aceros de México, Monterrey, Nuevo León, México.
Fábrica Cafés de México, Santa Clara, México.
Comedor de la Fábrica Toyoda, Ciudad Sahagún, Hidalgo, México.
Fábrica Belron, Ixtapalapa, México.
Piscina en Lomas de Chapultepec, México D.F.
Iglesia de Santa Teresa del Niño Jesús, Monterrey, Nuevo León, México.
Iglesia de Champagnac, Las Charcas, Guatemala.
Torre de transmisión de televisión, México D.F.
Fábrica de dulces El León, Vallejo, México D.F.

Residencia Borges, La Habana, Cuba.
Asociación Mexicana de Viajes, Juárez, México.
Laboratorios Lederle, Boiler House, Coapa, México D.F.
Oratorio en La Habana, Cuba.
Beach Club en Playa Azul, Venezuela.
Sinagoga en la Ciudad de Guatemala.
Pabellón de entrada a los Laboratorios Lederle, Coapa, México D.F.
(En colaboración con Alejandro Prieto).
Capilla de Nuestra Señora de la Soledad, Coyoacán, México D.F.

1956
Quiosco de música clásica, Santa Fe, México D.F.
(En colaboración con Mario Pani).
Iglesia de San Antonio de las Huertas, Tacuba, México D.F.
(En colaboración con Enrique de la Mora).
Escuela de baile, Parque Chapultepec.

1957
Escultura anuncio del Lago de Tequesquitengo (Morelos), México.
Plaza de los Abanicos, Lomas de Cuernavaca, México.
Bazar en Lomas de Cuernavaca, México.
Night Club La Jacaranda, Hotel Presidente, Acapulco, México.
(En colaboración con J. Sordo Madaleno).
Fábrica Texas Instruments, Dallas, EE.UU. (En colaboración con O'Neil Ford y Asociados).
Entrada a urbanización en Cuernavaca, México.
(En colaboración con Guillermo Rosell).

1958
Centro electrónico, Ciudad Universitaria, México D.F.
Restaurante Los Manantiales, Xochimilco, México D.F.
(En colaboración con J. Álvarez Ordóñez).
Auditorio y restaurante en Hotel Casino de La Selva, Cuernavaca, México.

1959
Capilla abierta en Lomas de Cuernavaca, México.
(En colaboración con Guillermo Rosell).
Iglesia de San José Obrero, Monterrey, Nuevo León, México.
(En colaboración con Enrique de la Mora).
Iglesia en Oklahoma, EE.UU.

1960
Capilla de San Vicente de Paul, Coyoacán, México D.F.
(En colaboración con Enrique de la Mora).
Planta embotelladora Bacardí, carretera México a Querétaro, Tlalnepantla, México.
Oficina de ventas en Guadalajara, Jalisco, México.

1963
Almacenes John Lewis, Stevenage, Hereforshire, Inglaterra.
(En colaboración con Yorke, Rosenberg y Mardall).
Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe, Madrid.

1964
Estadio Azteca (proyecto) carretera de Tlalpam, México D.F.

1968
Palacio de los Deportes para la Olimpiada de México, México D.F.
(En colaboración con E. Castaneda y A. Peiri).

1969
Complejo Deportivo para la Universidad de Brown (proyecto).
Provicence, Rhode Island, EE.UU.
(En colaboración con Praeger, Kavanagh-Waterbun).
Ciudad Deportiva en Kuwait (concurso de proyectos).

1975
Estadio Santiago Bernabeu (proyecto). Madrid.

1977
Universidad de King Abdulaziz, Yida, Arabia Saudí
(como consultor de Project Planning Associates).

SELECCIÓN DE ESCRITOS DE FÉLIX CANDELA

"Cubierta prismática de hormigón armado en la México D.F.", *Revista Nacional de Arquitectura*, nº 99, marzo 1950, Madrid.

"Las cubiertas laminares en la arquitectura industrial", *Espacios*, nº 7, junio 1951, México D.F.

"Simple Concrete Shell Structures", *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 48, diciembre 1951, EE.UU.

Discusión acerca de la conferencia "The Structural Behavior of Barrel Shell Roofs", de Alfred L. Parme, 22 marzo 1952, Universidad de Texas, Austin. EE.UU.

"Hacia una nueva filosofía de las estructuras", *Revista Ingeniería*, vol. XXV, nº 2, julio-agosto 1952, México D.F. ("Toward a New Philosophy of Structures", *Student Publication of the School of Design*, North Carolina State College, nº 3, 1954 y vol. VI, nº 1, 1955, Raleigh, North Carolina; "Weg zu einer neuen Strukturauffassung"), *Baukunst und Werkform*, año 12, nº 8, agosto 1959 y nº 9, septiembre 1959, Alemania).

"Una pequeña demostración práctica de la validez de la teoría de la membrana en superficies alabeadas", *Revista Ingeniería*, nº 4, noviembre-diciembre 1952, México D.F.

"Hangares de Concreto de 100 m de claro en el aeropuerto de Marsella", *Espacios*, nº 16, julio 1953, México D.F.

"Estereo-estructuras", conferencia en la Casa del Arquitecto, publicado en *Espacios*, nº 17, diciembre 1953, México D.F.; ("Stereo-Structures") *Progressive Architecture*, nº 6, junio 1954, Nueva York; *Construcción*, nº 63, julio 1954, Caracas, Venezuela; *Kokusai-Kentiku*, vol.21, noviembre 1954, Japón.

"Skew Shell Utilized in Unusual Roof", *Journal of the American Concrete Institute*, marzo 1953, vol. 49, EE.UU.

"La Arquitectura y la Industria", *Industrials*, 18 abril 1953, México.

"The Shell as a Space Encloser", *Proceedings, of a Conference on Thin Concrete Shells*, 21-23 junio, 1954, Cambridge, Massachusetts; *Kokusai Kentiku*, nº 9, Septiembre 1955, Japón; *Arts & Architecture*, enero 1955, California, EE.UU..

"Divagaciones estructurales en torno al estilo" *Espacios*, nº 15, 1953, México D.F. ("Structural Digressions Around Style in Architecture", *Students Publications of the School of Design*, North Carolina State College, vol. V, nº 1, 1954, Raleigh, North Carolina.)

"Structural Applications of Hyberbolic Paraboloidical Shells", *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 51, enero 1955, EE.UU.

"Thin Shell Roofs for Large Buildings", *Consulting Engineer*, mayo 1955, Michigan.

"Structural Design Analysis of Rio's Warehouse", *Progressive Architecture*, julio 1955, Nueva York.

"Il Guscio - Sinonimo delle delimitazione dello spazio", *Civilta delle Machine*, año 2, nº 5, septiembre-octubre 1955, Roma.

"Durmientes de hormigón pretensado", *La Construcción Moderna*, julio 1955, México D.F.

"Losas delgadas... diseño más económico", *Construcción*, tomo 43, nº 10, octubre 1955, Seattle, Washington.

"A New Way to Span Space", *Architectural Forum*, vol. 103, nº 5, noviembre 1955, Nueva York.

"Enrique de la Mora y Palomar. Iglesia de Nuestra Señora de la Soledad", Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, diciembre 1955.

"Estructuras laminares parabólico-hiperbólicas", *Informes de la Construcción*, nº 76, diciembre 1955, Madrid.

"Contestaciones a una encuesta sobre arquitectura. La iglesia de la Virgen de los Milagros", *Espacios*, nº 28, noviembre-diciembre 1955, México D.F.

"Construction en voûtes minces, au Méxique", *Techniques et Architecture*, nº 4, enero 1956, París.

"Toward a New Structure", *Architectural Forum*, febrero 1956, Nueva York.

"Shell Concrete Construction in México", *Municipal Journal*, nº 3290, marzo 1956, Londres.

"Les voûtes minces à l'espace architectural", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, nº 64, marzo 1956, París.

"En Bogotá", *El Arquitecto*, nº 19, abril-mayo 1956, Bogotá, Colombia.

"En defensa del formalismo", *Arquitectos de México*, nº 1, julio 1956, México.

"Intuition as Synthesis", *Dimension*, Student Publications, College of Architecture and Design, vol. 2, nº 2, febrero 1956, Universidad de Michigan.

"Iglesia de la Virgen Milagrosa", *Informes de la Construcción*, nº 86, diciembre 1956, Madrid.

"El Problema de la Expresión..." (debate), *Arquitectura México*, nº 57, marzo 1957, México D.F.

"Shell Forms", patrocinado por The University of Southern California, California, mayo 1957.

"Concrete Shell Forms", *Arts & Architecture*, vol. 74, nº 5, mayo 1957, Los Ángeles, California.

"Lezioni di modestia di Félix Candela", *L'Architettura*, nº 22, agosto 1957, Venecia.

"La crisis del estilo internacional" *Arquitectura México*, tomo 13, nº 59, septiembre 1957, México D.F.

"Realización de arquitectura litúrgica en México", conferencia con Enrique de la Mora, Local de *Arquitectura México*, 2 octubre 1957, México D.F.

"The Structures of Eduardo Torroja", por Colin Faber, *Progressive Architecture*, 1957, EE.UU.

"Crisis en la Arquitectura", *Arquitectura México*, 60, tomo 13, diciembre 1957, México D.F.

"Hyperbolic Paraboloids", Conferencia sobre *Creative Trends in Structural Design*, 11 diciembre 1957, Chicago, Illinois.

"Cascarones de concreto", *Construcción*, nº 44, marzo 1958, México D.F.

"Cascarones de hormigón armado", *Construcción*, tomo 46, nº 6, junio-agosto 1958, Nueva York.

"Understanding the Hyperbolic Paraboloid", *Architectural Record*, nº 7, julio-agosto 1958, Nueva York.

"Stress Analysis for Any Hyperbolic Paraboloid", *Architectural Record*, agosto 1958, Nueva York.

"Cascarones de concreto armado", *Planificación Espacios*, enero 1959, México D.F.

"Concrete", *Jubileumneumrrier Cement*, nº 1, febrero 1959, Amsterdam, Holanda.

"Félix Candela", *Arquitectura*, año 1, nº 10, octubre 1959, Madrid.

"Cascarones de hormigón armado", *Noticiero sima Gosstahl*, 50, año V, nº 3, abril 1959, Buenos Aires, Argentina.

"Calculated Chance", *Interbuild*, vol. 6, nº 5, mayo 1959, Londres.

"Wegzu einer neuen Strukturanffassung", *Baukunst und Werkform*, año 12, nº 8, agosto 1959, Alemania.

"Les Paraboloïdes hyperboliques et les coques en béton armé", *Aujourd'hui, Art et Architecture*, nº 23, año 4, 1959, París.

"Strutture e Strutturalismo. Una lettera di Félix Candela". *Casabella*, nº 232, octubre 1959, Milán.

"Planta embotelladora Bacardí", *Revista Ena*, nº 6, marzo 1960, México D.F.

"Fórmulas generales para el cálculo de esfuerzos en cascarones paraboloides-hiperbólicos", *Ingeniería*, vol. XXX, nº 2, abril 1960, México D.F.; ("General formulas for Membrane Stresses in Hyperbolic Paraboloidical Shells" *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 57, octubre 1960.)

"Reinforced Concrete Shells", *Students Publication of The School of Design*, North Carolina State College, vol. 9, nº 2, 1960, Raleigh, N.C.

"Planta embotelladora Bacardí en México", *Nuestra Arquitectura*, nº 376, marzo 1961, Buenos Aires.

"La influencia del concreto armado y del progreso técnico y científico en la arquitectura de hoy y mañana", *Revista Ena*, nº 3, año 3, junio 1961, México D.F.

"Aclaraciones del arquitecto Félix Candela", *Mañana*, nº 931, año XVIII, vol. XCIII, 1 julio 1961, México, D.F.

"Towards a New Philosophy of Structure", *Cuadernos de Arquitectura*, nº 2, julio 1961, México.

"Design and Construction in México. Shell Construction", *Industrial Building*, vol. II, septiembre 1961, Nueva York.

"Une seule conscience pour l'oeuvre a créer", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, nº 99, diciembre 1961, enero 1962, París.

"Arquitectura y estructuralismo", *Arquitectura*, nº 59, noviembre 1963, Madrid; *Arquitectos de México*, nº 21, enero 1964, México D.F.; *Summa*, nº 4, diciembre 1965, Buenos Aires; ("Architettura e Strutturalismo") *Casabella*, nº 306, 1966, Milán.

"Comprendere il paraboloide iperbólico", *Casabella*, nº 298, octubre 1965, Milán.

"Conferencia", *Arquitectura*, nº 93, marzo 1966, México D.F.

"Shell Structure Development", *The Canadian Architect*, vol. 12, nº 1, enero 1967, Ottawa, Canadá.

"This Ove Arup", Fetskrift for Ove Arup. *London Newsletter*, nº 32, abril 1965, Londres.

"El escándalo de la ópera de Sydney", *Arquitectura*, año 9, nº 108, diciembre 1967, Madrid; *Arquitectura*, año XXIX, nº 98, tomo XXII, 1967, México D.F.

"La tragedia de los hombres de mi generación es que estamos ayudando a crear un mundo en el que no creemos", *Siempre*, nº 785, 10 julio 1968, México D.F.

Prefacio para el libro *Frei Otto: Spannweiten*, por Conrad Roland, Verlag Ullstein. 1965, Viena, Berlín.

"La crisis ecológica mundial" y "La explosión demográfica", *Devenir: Cuadernos del seminario de Historia*, nos. 2 y 3, marzo-abril 1971, Universidad Nacional Autónoma de México; *Arquitectura*, nos. 142 y 145, octubre 1970, enero 1971.

"The Heritage of Maillart", Segunda Conferencia Nacional sobre *Civil Engineering, History, Heritage and the Humanities*, octubre 1972, Universidad de Princeton; en alemán, *Archithese*, nº 6, octubre 1973, Suiza.

"Influencia de la tecnología en la creatividad arquitectónica, *Memoria del XII Congreso de la Unión Internacional de Arquitectos*, julio 1975, Madrid.

"Small Shells for Large Roofs", *Zodiac*, nº 22, Edizione Comunità, 1973, Milán.

En defensa del formalismo y otros escritos, Xarait Ediciones, 1985, Bilbao.

SELECCIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE FÉLIX CANDELA

AA. VV., "Félix Candela", *Arquitectura*, nº 10, octubre 1959, Madrid.

ARUP, Ove, "Su Félix Candela", *Domus 410*, 10 enero 1964, Milán.

BANHAM, Reyner, "Simplified Vaulting Practices", Londres. *The Architectural Review*, septiembre 1953.

BASTIEN, Lisa, "Our Lady of Solitude Chapel in México", *Liturgical Arts*, vol. 27, nº 3, mayo 1959, Japón y México.

BEEKKE, Rolf, "Candelaskallet-Anvendt Matematikk i Byggekunsten", *Betongen Idog*, nº 3, noviembre 1965, Oslo, Noruega.

BORGES, Max, "Cabaret Tropicana", Exposición Arquitectura Panamericana, Instituto Nacional de Bellas Artes, julio 1967, México D.F.

BOWMAN, Waldo, "Umbrellas over Mexico City's, New Buildings", *Enginnering News Record*, mayo 1957. Nueva York.

BOYARSKY, Alvin, "Félix Candela at the A.A.", *Architectural Association Journal*, vol. 80, nº 883, 1964, Londres.

BOYD, Robin, "Engineering of Excitement", *Architectural Review*, vol. CXXIV, nº 742, noviembre 1958, Londres.

BUSCHIAZZO, Félix, "Félix Candela", diciembre 1961, Buenos Aires.

CAMPBELL, Betty, "Félix Candela", *Concrete Quarterly*, nº 33, abril-junio 1957 y nº 42, julio-septiembre 1959, Londres; *Cement*, nº 8, abril 1960 Amsterdam; *The Guild's Engineer*, nº 13, 1962, Londres.

CASTRO ARINES, José, "Arquitectura actual de América", *Construcción Vidrio, Cerámica*, año XXV, enero 1966, Madrid.

CETTO, Max, "Modern Architecture in México", *Praeger*, 1961, Nueva York.

CJLUSKER, Peter, "The Arts", *México This Month*, vol. X, nº 10, enero 1964, México D.F.

CORGAN, Jack, "Félix Candela", *Term Paper*, 1965, Stillwater, Oklahoma.

COSCO, Giovanni Maria, "La obra arquitectónica de Félix Candela", *Arquitectura*, diciembre 1955, México D.F.

CREIGHTON, Thomas H. "The New Sensualism II", *Progressive Architecture*, vol. 15, nº 10, octubre 1959, Nueva York.

DONOSO PAREJA, Miguel, "Félix Candela. La funcionalidad arquitectónica", *Novedades*, 1968, México D.F.

FABER, Colin, "Félix Candela's Live Concrete", *México This Month*, julio 1954, México D.F.

– "Félix Candela as a Contemporary", *Arts & Architecture*, vol. 73, nº 5, marzo 1956, Los Ángeles.

– "Félix Candela, como contemporáneo" *Construcción Moderna*, vol. XI, nº 83, 1957, México D.F.

– *Candela/The Shell Builder*, 1963, Reinhold, Nueva York.

– "Candela, The Shell Builder", *Riba Journal*, julio 1964, Londres; y en *Architectural Design*, agosto 1964, Londres.

GRAHAM, Gordon, "Félix Candela and the hyperbolic paraboloid", *Architecture and Building*, enero 1957, Londres.

HELMUT, De Von, "Frei Former, Jebunden durch Einkeit der Form", y "Candela und seine Schalen", *Barcherdt*, EB-57 a EB-64, año 61, agosto 1964, Alemania.

HOLMES, Burton y CREIGHTON, Thomas, "Recent work of México's Félix Candela. Can a man be architect, engineer and builder?", *Progressive Architecture*, febrero 1959, Nueva York.

INZA, Francisco de, "Comentarios a una conferencia de Félix Candela", *Arquitectura*, nº 88, abril 1966, Madrid.

JOYSMITH, Toby, "Candela of Shell Design Fame", *News*, primera sección, domingo 12 enero 1964.

KASPE, Vladimir, "Architecture du Mexique", *Nouvelles du Mexique*, nº 25, abril, mayo y junio 1961, París.

KESTOFF, Serge, "Les Ingenieurs et l'architecture (Candela)", *un Siecle d'Architecture d'Aujourd'hui*, nº 113-114, diciembre 1964, París.

KETCHUM, Milo; y STETSON, J.O., "Genius Miraculous", *N.Y. Progressive Architecture*, vol. 36, nº 9, septiembre 1955, Nueva York.

KOCH, Rodrigo, "El Instituto de Ingeniería", *El Día*, junio 1968, México D.F.

LEAL CORTÉS, Alfredo, "Félix Candela-Premio Internacional de Arquitectura", *Mañana*, nº 930, junio 1961, México D.F.

MACIEL, Benjamín, "Nuestras nuevas bodegas de envase en Orizaba", *Panorama Moctezuma*, vol. X, nº 113, julio 1967, México D.F.

MARUXA, "Charlas con el arquitecto Candela", "Humanismo y Arquitectura", *Revista Cruz Roja Mexicana*, vol. 2, nº 25, abril 1960, México D.F.

McCOY, Ester, "The New University of México", *Arts & Architecture*, vol. 70, nº 9, septiembre 1953, Los Ángeles.

– "Concrete Shell Forms. Félix Candela", *Arts & Architecture*, mayo 1957, Los Ángeles.

– "México's Shell Builder", *New México Quarterly*, vol. 27, nº 3, 1957, México.

– "Félix Candela. Shells in Architecture" *Evergreen Review*, vol. 2, nº 7, 1959, Nueva York.

– "Félix Candela and Shells in Architecture", *Intercambio*, nº 187, junio 1959, México D.F.

– "México Revisited: The Presence of Candela", *Zodiac*, octubre 1963, Italia.

MENDELSOHN, Eric, "Back Ground to Design", *Architectural Forum*, abril 1953, Nueva York.

MORRISON, Katherine, "Art and Architecture for Today's Church", *Protestant Church Building and Equipment*, vol. 12, nº 1, abril 1964, Nueva York.

NELKEN, Margarita, "Inquietudes de la arquitectura de hoy", *Excelsior*, nº 9-C, septiembre 1953, México D.F.

NEUGAB, Fritz, "Die neue Universitats Stadt von México", *Die Kunst*, 12 septiembre 1953.

NICHOLSON, Irene, "Félix Candela y la arquitectura mejicana", *Intercambio*, nº 212, 31 julio 1961, México D.F.

NICOLETTI, Manfredo, "Profilo di un architetto americano. Félix Candela", *L'Architettura*, nº 16, febrero 1957, Milán.

– "Incontro con Félix Candela", *L'Architettura*, nº 16, febrero 1957, Milán.

OBREGÓN, Emilio, "El mundo de los Timbres", *Novedades*, julio 1968, México D.F.

O'DONNELL, Rev., "Introduction", *Chapels for Tomorrow*, 1960. EE.UU.

PINONCELLY, Salvador, "La obra de Félix Candela", *Cuadernos de Bellas Artes*, nº 2, julio 1961, México D.F.

PONIATOWSKA, Elena, "Candela: el salto mortal de la arquitectura", *México en la Cultura*, mayo 1961, México D.F.

POSTIGO, Agustín, "Un arquitecto español construye un atrevido pabellón para alojar un equipo intratómico de resultados asombrosos", *El Pueblo Gallego*, 21 noviembre 1953, España.

RAMÍREZ DAMPIERRE, Fernando, "Temas del momento. Félix Candela", *Arquitectura*, año 3, nº 30, junio 1961, Madrid.

ROBINA, Ricardo, "La Iglesia", *Arquitectura*, nº 36, diciembre 1951, México D.F.

ROSA DE MARQUES, E., "La moderna arquitectura religiosa", *Nosotros*, nº 593, octubre 1958, México D.F.

SÁENZ DE LA CALZADA, Arturo, "El premio Perret y la Medalla de Oro para Félix Candela", *Cuadernos de Bellas Artes*, julio 1961, México D.F.

SARTORIS, Alberto, "Félix Candela, architecte, ingénieur et constructeur", *Architecture, formes + fonctions*, 1960, Lausana.

SHARP, Denis, "Félix Candela", *The Modern Movement in Architecture. A Bibliographical Bibliography*, diciembre 1963, Londres.

SMITH, Clive B., "Builders in the Sun: Five Mexican Architects", *Progressive Architecture*, nº 8, agosto 1967, Nueva York.

URRUTIA, Óscar, "Una aportación definitiva a la técnica del concreto,-*Calli* entrevista a Candela", *Calli*, nº 5, octubre 1961, México D.F.

EXPOSICIÓN ORGANIZADA POR EL INSTITUTO JUAN DE HERRERA Y LA DIRECCIÓN GENERAL PARA LA VIVIENDA, EL URBANISMO Y LA ARQUITECTURA DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE, CON LA COLABORACIÓN DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

COMITÉ DE LA EXPOSICIÓN

COMISARIO

Miguel Seguí Buenaventura. Arquitecto

ASESOR TÉCNICO

Ignacio Calles González. Ingeniero de Telecomunicaciones

DISEÑO DEL MONTAJE

Miguel Seguí Buenaventura
León Benacerraf Botbol

DISEÑO GRÁFICO

Begoña Díaz-Urgorri Emparanza
Miguel Seguí Buenaventura

MAQUETAS REALIZADAS POR

Juan de Dios Hernández
* Capilla abierta. Lomas de Cuernavaca

Alumnos de la ETSAM (Departamento de Construcción y Estructuras y Cátedra de Geometría Descriptiva):

David Mimbrero
Gustavo Piqueras
Nieves Martín
* Capilla de San Vicente de Paul

Miguel Zumárraga
Ricardo Higueras.
Marga Sánchez
Antonio Alejandro
Juancho Gorraiz
* Capilla de Nuestra Señora de la Soledad (El Altillo)
* Iglesia de San José Obrero

Bruno Miguélez
* Cobaret La Jacaranda. Acapulco

Uriel Seguí
Casilda Epeldegui
* Combinación de cuatro hypars con bordes rectos
* Interpretación de bóveda por arista

Sol de la Quadra-Salcedo
Carlota Pérez-Enciso
Almudena Fernández de Córdoba
Gonzalo Díaz-Pines
* Detalle de paraguas para nave industrial
* Combinaciones simples con hypars

Virgilio Ameijeiras, Ciro Márquez y Miguel Seguí, con todos los alumnos anteriores y la colaboración de Juan Castro (Fibras y Nuevos Materiales)
* Restaurante Los Manantiales. Xochimilco

MOBILIARIO

Alumnos ETSAM
Virgilio Ameijeiras
Ciro Márquez
Uriel Seguí

MONTAJE

Miguel Seguí
Víctor Bouzas
Emilio Oropesa
Alumnos ETSAM (todos los anteriores)

OTROS COLABORADORES

José María Gutiérrez Churtichaga
Juan Castro
Manuel Ocaña

FOTOGRAFÍAS CEDIDAS POR

Félix y Dorothy Candela
Fundación Emilio Pérez Piñero
Avery Library. Columbia University (N.Y.)
Miguel Seguí

DIBUJOS ORIGINALES

Prestados por la Avery Library. Columbia University, Nueva York (responsables de archivo: Janet Parks y Dan Kany)
Con la autorización expresa del autor

REPRODUCCIONES FOTOGRÁFICAS

Avery Library. Columbia University (N.Y.)
David Jiménez

AMPLIACIONES FOTOGRÁFICAS

B/N: David Jiménez
Color: Loboratorios Serapio Carreño
Material cedido por Kodak S.A.

MARCOS Y PANELES

Beme Diseño

FOTO CD

Digitalizaciones: Grupo Digital 13
Con la colaboración de Kodak S.A.

INFOGRAFÍA

Catedra de Geometría Descriptiva de la ETSAM

AUDIOVISUAL

José Miguel Seguí
Rodrigo de la Quadra-Salcedo
Carlos Pecker

SEGURO

C. E. 55, Correduría de Seguros
con la colaboración de Mapfre

FOTOCOPIAS

Faster Copy-Service

TRANSPORTE

Tamex S.A.
con la Colaboración de
Iberia Líneas Aéreas

CATÁLOGO

EDICIÓN
Instituto Juan de Herrera
Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente

CONCEPCIÓN
Miguel Seguí
Ignacio Alcázar (ETSAM)

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN
Miguel Seguí
Ediciones El Viso, S.A.

PRODUCCIÓN
Ediciones El Viso, S.A.

FOTOMECÁNICA
DIA, S.A.

FOTOCOMPOSICIÓN
Fotojae, S.A.

IMPRESIÓN
Julio Soto Impresor, S.A.
Av. de la Constitución, 202.
Torrejón de Ardoz (Madrid)

ENCUADERNACIÓN
Encuadernación Ramos, S.A.

ISBN: 84-600-8871-5
DEP. LEGAL:M-12982-1994
NIPO: 161-94-078-2



ISBN 84-600-8871-5
9 788460 088714